



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Tesis Doctoral

**CRECIMIENTO DE FIRMAS DE INGRESO
TARDÍO A MERCADOS DE SOFTWARE
ESTANDARIZADO: UN ENFOQUE DESDE
LA MODELACIÓN DE LA DIFUSIÓN
COMPETITIVA MULTIGENERACIONAL,
CON EFECTOS DE RED.**

Autora

Ana Lucía Pérez Patiño, M.Sc.

DOCTORADO EN INGENIERÍA -INFORMÁTICA Y SISTEMAS

Medellín, 2011

**CRECIMIENTO DE FIRMAS DE INGRESO
TARDÍO A MERCADOS DE SOFTWARE
ESTANDARIZADO: UN ENFOQUE DESDE LA
MODELACIÓN DE LA DIFUSIÓN COMPETITIVA
MULTIGENERACIONAL, CON EFECTOS DE
RED.**

Autora

Ana Lucía Pérez Patiño, M.Sc.

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial
para optar al título de:

Doctora en Ingeniería

Director:

Ph.D Jorge Robledo Velásquez.

Línea de Investigación:

SISTEMAS E INFORMÁTICA

Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín

Facultad de Minas, Escuela de Sistemas

Medellín, Colombia.

2011.

**A mi hijo Emmanuel Branch Pérez por su paciente y
cariñosa compañía.**

A mis padres, abuelitos, hermanos y
sobrinos, por acompañarme durante estos
años con la fortaleza de una sólida y
amorosa familia.

A mi hermana Gloria por su cariño e
incondicionalidad.

A mis amigos Yesid, Luces, Lynn, Germán,
Pierre y Francisco, por su apoyo en los
momentos más difíciles.

En memoria de Gabriel Jaime y la abuela Ana.

La autora agradece a:

A los profesores Jorge Robledo, Isaac Dyner, Santiago Arango e Iván Hernández por su acompañamiento incondicional durante este proceso.

Los profesores Pierre Boulanger, Giuseppe Zollo, Marco Giarratana y Tony Briggs por compartir desinteresada e incondicionalmente su conocimiento y las condiciones favorables de sus universidades y países.

A la Universidad de Antioquia, COLCIENCIAS e INTERSOFTWARE por el soporte fundamental para alcanzar este logro.

RESUMEN

Según el orden de entrada al mercado, las firmas se clasifican como Pioneras, Seguidoras Tempranas y Entrantes Tardías (en adelante, estas últimas se denominarán ET) (Ansoff & Stewart, 1967). En la industria de software, existe abundante evidencia de que tanto el tiempo de entrada de una innovación disruptiva en el mercado (Keller & Hüsig, 2009), como las ventajas comparativas de la región en la que emerge (Arora & Gambardella, 2005) y la trayectoria tomada por el paradigma tecnológico en el cual están inscritos sus productos, tienden a un crecimiento dependiente de la trayectoria (D'Costa, 2002). Podría interpretarse entonces, que la adopción de los productos de las firmas de software es sensible a factores aleatorios e idiosincráticos presentes al inicio de la difusión, los cuales tienen impactos en los resultados finales. Estas condiciones pueden ubicar a la Pionera en una posición ventajosa frente a sus seguidores.

Sin embargo, la incertidumbre tecnológica y de mercado puede hacer que una Pionera quede en condición de desventaja frente a las ET (Lieberman & Montgomery, 1998). Adicionalmente, la Pionera enfrenta el riesgo de seguir una trayectoria tecnológicamente inferior ante la llegada de una ET capaz de introducir en el mercado nuevas generaciones de producto compatibles con el estándar, como en el caso Microsoft Corp. y Google Inc. descrito por Keller & Hüsig (2009). El fenómeno del crecimiento de firmas ET es un desafío que ha venido ganado atención por más de una década, tanto en la literatura de pronóstico tecnológico (Rousseva,

2008), como en economía (Arora & Gambardella, 2005) y política (Schware, 1992; Soete, 1985; Steinmueller, 2001). Sin embargo, si las firmas ET pueden sostener o no sus tasas de crecimiento, sigue siendo una cuestión que se ha abordado empíricamente.

Dadas las características del crecimiento de firmas en mercados de software, dos instrumentos teóricos parecen promisorios para el modelamiento del fenómeno. Por un lado la teoría de la difusión de la innovación, enfocada en la explicación y el pronóstico del proceso de adopción de productos por una población de usuarios potenciales de la firma. Por otro, la teoría de los efectos de red, que considera una dinámica en la que los adoptadores potenciales se benefician por comprar el producto de la firma que cuente con mayor base instalada -externalidades de red directas- y con compatibilidad con múltiples productos-externalidades de red indirectas-.

Se dispone de abundante literatura para el modelado de la difusión de la innovación (Bass F. , 1969; Bass & Bass, 2001; Maier, 1998; Meade & Islam, 2006; Chanda & Bardhan, 2008) y el modelado de los efectos de red (Oren, Smith, & Wilson, 1982; Katz & Shapiro, 1985; Economides, 1996; Farrell & Saloner, 1986; Church & Gandal, 1996). Von Westarp (2003) y Kemper (2010) hacen contribuciones al modelado de mercados de software; sin embargo, no consideran la difusión competitiva multi-generacional y con efectos de red, presente en el crecimiento a largo plazo de firmas de software.

Esta investigación se enmarca y valida en seis postulados que pueden explicar el crecimiento de ET a mercados de software estandarizado, a saber: i) el indicador de crecimiento de las firmas es la venta anual (Peres, R., Muller, E., & Mahajan, V., 2010); ii) el potencial de mercado es dinámico en función de los efectos de red (β) considerados por Liu et al. (2011); iv) una firma de software sale del mercado cuando no difunde nuevos productos después de dos años de la introducción del producto anterior (Giarratana, 2004); v) en la fabricación de software estandarizado, los principales costos para el desarrollo del producto ocurren en la fase de I&D (OECD, 2009); la inversión en I&D es un indicador de capacidad de innovación. La entrada necesaria para acumular capacidad en I&D es el porcentaje anual de ventas destinado a inversión en I&D y la salida se mide en número de nuevas generaciones de producto que se difunden en el mercado (Li, Shang, & Slaughter, 2010; OECD, 2009).

En esta investigación doctoral se explica el fenómeno de crecimiento de firmas ET inmersas en un ambiente de competencia contra un Pionera, mediante la simulación de un modelo y se evalúa la sensibilidad del comportamiento de las ventas, a la inversión en I+D y al tiempo de entrada de sucesivas generaciones del producto. Las múltiples simulaciones del modelo muestran que invertir en I+D, aumentar la base instalada mediante los beneficios de las externalidades de red en la demanda, e introducir en el mercado múltiples generaciones de productos más rápidamente que la Pionera, son estrategias promisorias para que las ET sobrevivan en el mercado.

ABSTRACT

According to their order of market entry, firms are classified as Pioneers, Early Followers and Late Starters(hereinafter, the latter will be referred to as LS) (Ansoff & Stewart, 1967).In the software industry, there is abundant evidence that both the time of entry of a disruptive innovation in the market(Keller & Hüsig, 2009), as the region's comparative advantages where it emerges(Arora & Gambardella, 2005)and the trajectory taken by the technological paradigm in which their products are inscribed, tend to a trajectory dependent growth (D'Costa, 2002). It could be interpreted then that the adoption of the products of the software firms is sensitive to random and idiosyncratic factors present at the beginning of the diffusion which have impacts on the final results. These conditions can place the Pioneer firms at an advantage against its followers.

However, the technological and market uncertainty can place a Pioneer firm in a position of disadvantage compare to the LS firm (Lieberman & Montgomery, 1998). Additionally, the Pioneer firm faces the risk of following a trajectory technologically inferior to the arrival of a LS firm capable of introducing into the market new generations of products compatible with the standard, as in the case of Microsoft Corp. and Google Inc. described by Keller & Hüsig (2009). The phenomenon of LS firms growth is a challenge that has increasingly gained attention for more than a decade, both in technological forecasting literature(Rousseva, 2008), economics(Arora & Gambardella, 2005)and

politics (Schware, 1992; Soete, 1985; Steinmueller, 2001). However, whether the LS firms can sustain their growth rates, remains an issue which has been addressed empirically.

Given the growth characteristics of firms within the software markets, two theoretical tools seem promising for the modeling of the phenomenon. On the one hand the theory of innovation diffusion, focused on explaining and predicting the product adoption process by a population of potential users of the firm. On the other hand, the theory of network effects, which considers a dynamic in which potential adopters benefit by purchasing the product of the firm that has the largest installed base -direct network externalities- and with compatibility with multiple products-indirect network externalities-.

There is abundant literature for modeling the diffusion of innovation (Bass F. , 1969; Bass & Bass, 2001; Maier, 1998; Meade & Islam, 2006; Chanda & Bardhan, 2008) and modeling of network effects (Oren, Smith, & Wilson, 1982; Katz & Shapiro, 1985; Economides, 1996; Farrell & Saloner, 1986; Church & Gandal, 1996). Von Westarp (2003) and Kemper (2010) make contributions to the modeling of software markets; however, they do not consider the multi-generational competitive diffusion and network effects, present in long-term growth of software firms.

This research is framed and validated in six principles that can explain the growth of LS firms to standardized software markets, namely: i) the indicator of firm growth is the

annual sale (Peres, R., Muller, E., & Mahajan, V., 2010); ii) the potential market is dynamic in terms of network effects(β)considered by Liu et al. (2011); iv) a software firm drops out from the market when it does not disseminate new products after two years of the introduction of the last product (Giarratana, 2004); v) in the manufacture of standardized software, the main costs for the development of a product occur in the I&D phase (OECD, 2009); investment in I&D is an indicator of innovation capacity. The input required to build capacity in I&D is the annual percentage of sales allocated to investment in I&D and the output is measured in the number of new product generations that are spread out in the market (Li, Shang, & Slaughter, 2010; OECD, 2009).

This doctoral research explains the growth phenomenon of LS firms immersed in a competitive environment against a Pioneer firm, by simulating a model and evaluating the sensitivity of sales performance, investment in I+D and the time of entrance of successive product generations. The multiple model simulations show that investing in I+D, increasing the installed base through the benefits of network externalities in demand, and bringing to market multiple generations of products faster than the Pioneer firm, are promising strategies for the LS firms survival in the market.

Palabras clave: crecimiento de firmas de software, modelamiento matemático, difusión de innovación, sustitución tecnológica, simulación.

Key words: software firm growth, mathematical modeling, innovation diffusion, technological, substitution, simulation.

Tabla de contenido

1	PROBLEMÁTICA	28
1.1	Estructura de costos y la estrategia de precios.....	32
1.1.1	El ambiente de innovación en el sector software y las altas economías de escala.	33
1.1.2	Economías de escala.....	36
1.1.3	Innovación disruptiva y bloqueo de la capacidad de innovación	37
1.2	Limitaciones en los modelos disponibles.....	40
2	DIFUSIÓN DE INNOVACIÓN Y CRECIMIENTO DE FIRMAS DE SOFTWARE ESTANDARIZADO: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA	47
2.1	Modelos de adopción individual.....	50
2.2	Modelos de adopción acumulada.....	55
2.2.1	Modelos clásicos de difusión de innovación.....	55
2.2.2	Modelamiento de múltiples generaciones de productos	58
2.3	Modelos de competencia.....	63
2.4	Otros modelos de difusión.....	69
2.4.1	Modelos de Gompertz & Gompertz-Chow (Chow, 1967)	69
2.4.2	Modelos logísticos (Griliches, 1960)	69
2.4.3	Modelo exponencial.....	70
2.5	Modelamiento de los efectos de red.....	71

2.5.1 Modelos analíticos.....	72
2.5.2 Modelos empíricos.....	76
2.6 Conclusiones.....	77
3 METODOLOGÍA	80
 4 MODELADO DEL CRECIMIENTO DE FIRMAS ENTRANTES TARDÍAS EN MERCADOS DE SOFTWARE ESTANDARIZADO.	 85
4.1 Experimento previo: modelo monogeneracional de crecimiento de una firma de software.....	88
4.2 Modelo propuesto: de un modelo de Bass a la complejidad del fenómeno del crecimiento de firmas de software.	90
4.3 Mercado potencial y coeficientes de innovación e imitación dinámicos.....	96
4.4 Estrategias: precios e inversión en I&D.....	98
4.5 Conclusiones.....	99
5 VALIDACIÓN	101
5.1 Prueba directa de estructura.....	101
5.2 Prueba de estructura orientada al comportamiento.....	105
5.2.1 Validación con caso ANSYS Inc.....	106
5.2.2 Validación con caso CIMATRON Group.....	108
5.2.3 Validación con caso SYMANTEC Corp.....	111
5.2.4 Validación de la estrategia de precios.....	113

5.3 Validación de condiciones extremas.....	117
5.3.1 Evaluación sobre la tasas de ventas.....	118
5.3.2 Evaluación sobre los coeficientes de innovación e imitación.	120
6 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTOS	127
6.1 Escenario base.....	128
6.2 Escenario 1.....	131
6.3 Escenario 2.....	134
6.4 Escenario 3.....	138
6.5 Escenario 4.....	142
6.6 Escenario 5.....	145
7 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	149
8 Referencias	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Curva de crecimiento de las ventas mundiales de software entre 1964 y 1985. Fuente: Campbell-Kelly (1995)	29
Figura 1-2. Precios de procesadores de texto Hancom y Micorsoft Corp en Won. Fuente: Tan et al. (2010)	36
Figura 1-3. Comportamiento de los precios de procesadores de texto entre 1986 y 1977. Fuente: Von Westarp (2003)	37
Figura 1-4. a) Participación en el mercado de procesadores de texto entre 1986 y 1997. b) Modo de referencia del crecimiento de las ventas anuales de Microsoft Corp. y Google Inc. Fuente: (Von Westarp, 2003, P. 49); Autora basada en (Microsoft_Corp., 2011) y (Google_Inc., 2011)	39
Figura 1-5. Modos de referencia de la tasa de ventas de firmas de software. Fuente: Autora, con base en (INFOSYS, 2011; INFOSYS, 2011; Check_Point_Software_Tech., 2011; SYMANTEC_CORP., 2011; Google_Inc., 2011; Yahoo, 2011; Haansoft, 2011)	43

Figura 1-6. Puntos de cambio en la difusión. Fuente: (Peres, Muller, & Mahajan, 2010).....	45
Figura 2-1. Número de publicaciones anuales en difusión de innovación. Fuente: Li & Sui (2011, pág. 157).....	48
Figura 2-2. Diagrama de flujos y niveles del modelo propuesto por Fournier & Woodlock (1960).....	55
Figura 3-1. Metodología.....	81
Figura 4-1. Hipótesis dinámica.....	86
Figura 4-2. Esquema del modelo propuesto.....	87
Figura 4-3. Modelo de difusión de Bass (1969).Fuente: (Stern J. , 2000)	89
Figura 4-4. Comportamiento de la adopción de acuerdo con Bass (1969), a) adopción acumulada, b) tasa de adopción.....	90
Figura 4-5. Diagrama causal con difusión multigeneracional	92
Figura 5-1. Comportamiento de típico de la función para la tasa de ventas. Fuente: Autora.....	102

Figura 5-2. Comparación de ventas históricas y de simulación para ANSYS Inc.....	108
Figura 5-3. Comparación de ventas históricas y de simulación para CIMATRON.....	110
Figura 5-4. Comparación de ventas históricas y de simulación para SYMANTEC.....	112
Figura 5-5. Simulación de los precios de WordPerfect para DOS y los datos históricos.....	114
Figura 5-6. Simulación de los precios de Microsoft Word para DOS y los datos históricos.....	116
Figura 5-7. Comportamiento de las ventas en función del mercado potencial.....	118
Figura 5-8. Comportamiento de la tasa de ventas cuando el coeficiente de imitación es cero.....	119
Figura 5-9. Comportamiento de la tasa de ventas cuando el coeficiente de innovación es cero.....	120
Figura 5-10. Comportamiento de la tasa de innovación (b) e imitación (c) en función de las ventas (a).....	121

Figura 5-11. Comportamiento de la tasa de cambio del mercado potencial.....	123
Figura 5-12. Precios de tres generaciones de productos.....	124
Figura 5-13. Efecto de la inversión en I&D sobre la tasa de ventas.....	125
Figura 6-1. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario base.....	131
Figura 6-2. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario dos.....	137
Figura 6-3. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario tres.....	141
Figura 6-4. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario cuatro.....	144
Figura 6-5. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario cinco.....	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Líderes mundiales en el mercado de Software de Seguridad a 1998. Fuente: Autora, con base en Giarratana (2004).	31
Tabla 1-2. Correlación entre la inversión en I&D y las ventas anuales para diez firmas de software.	34
Tabla 1-3. Prueba de hipótesis sobre la correlación entre la inversión en I&D y las ventas anuales Fuente: Autora. .	35
Tabla 5-1. Información financiera de ANSYS Inc. Fuente: (ANSYS_INC., 2011)	106
Tabla 5-2. Resultados de la simulación del modelo caso ANSYS INC.	107
Tabla 5-3. Datos financieros de la firma CIMATRON. Fuente: CIMATRON GROUP (2011)	109
Tabla 5-4. Resultados de la simulación del modelo caso CIMATRON	110
Tabla 5-5 Datos financieros de la firma Symantec. Fuente: Symantec Corp. (2011)	111

Tabla 5-6. Resultados de la simulación del modelo caso SYMANTEC.	112
Tabla 5-7. Parámetros para validación de los precios de WordPerfect para DOS.	113
Tabla 5-8. Precios de WordPerfect para DOS	114
Tabla 5-9. Parámetros para validación de los precios de Microsoft Word para DOS	115
Tabla 5-10. Precios de Microsoft Word para DOS	116
Tabla 6-1. Condiciones iniciales para escenario base de simulación.	129
Tabla 6-2 Simulación de escenario base bajo iguales condiciones iniciales	130
Tabla 6-3. Condiciones iniciales para escenario uno de simulación	132
Tabla 6-4 Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario uno	133
Tabla 6-5. Condiciones iniciales para escenario dos de simulación	135

Tabla 6-6. Simulación de escenario dos.....	136
Tabla 6-7. Condiciones iniciales para escenario tres de simulación	139
Tabla 6-8. Simulación de escenario tres.....	140
Tabla 6-9. Condiciones iniciales para escenario cuatro de simulación	142
Tabla 6-10. Simulación del escenario cuatro.....	143
Tabla 6-11. Condiciones iniciales para escenario cuatro de simulación	146
Tabla 6-12. Simulación del quinto escenario.....	147

INTRODUCCIÓN

La industria de software existe desde mediados de los años cincuenta, aunque su crecimiento comenzó a finales de la década de los setenta (Campbell-Kelly, 1995). Diariamente, la entrada, salida, fusión y adquisición, hacen que el nacimiento y muerte de firmas sea más dinámico que en otras industrias (Torrissi, 1998; Von Westarp, 2003; Li, Shang, & Slaughter, 2010); sin embargo, ventas de aproximadamente USD 242,4 mil millones 2009 y el pronóstico de USD 330 mil millones para 2014, hacen del mercado de software uno de los más importantes en el mundo (DATAMONITOR, 2010).

Según el orden de entrada al mercado, las firmas se han clasificado como Pioneras, Seguidoras y Entrantes Tardías (ET) (Ansoff & Stewart, 1967). En mercados de software, existe una creencia generalizada de que la ventaja del primer entrante¹ le confiere el liderazgo tecnológico y la explotación de los costos de cambio² a la firma Pionera (Li, Shang, & Slaughter, 2010). Sin embargo, recientemente, el análisis de las desventajas de la Pionera y las ventajas de

¹ Para Lieberman & Montgomery (1998), el primer entrante es el primero en vender un producto nuevo en el mercado, no necesariamente el líder.

² Costos de cambio: costes psicológicos, físicos y económicos a los que un consumidor se enfrenta cuando cambia de proveedor (Välimäki, 2005)

las Seguidoras y las ET, atrae la atención de los investigadores (Keller & Hüsigg, 2009).

El estudio de la relación entre el orden de entrada y la sobrevivencia de firmas de software, ha venido ganando atención en las últimas décadas en la literatura de sistemas de información (Li, Shang, & Slaughter, 2010), pronóstico tecnológico (Rousseva, 2008), economía (Arora & Gambardella, 2005) y políticas de ciencia y tecnología (Schware, 1992; Soete, 1985; Steinmueller, 2001), y si bien se dispone de evidencia para estudiar el fenómeno, si las ET pueden sostener o no sus tasas de crecimiento, sigue siendo una cuestión empírica (D'Costa, 2002b; Keller & Hüsigg, 2009; Liu, Cheng, Tang, & Eryarsoy, 2011; Tan, Yang, & Xu, 2010). Así, las preguntas centrales de esta investigación son: ¿por qué sobreviven algunas firmas de software y otras no? ¿Es posible explicar de manera lógica, replicable y validable el fenómeno de crecimiento de ET?

A pesar de la importancia del problema, en los modelos disponibles (Von Westarp, 2003; Kemper, 2010; Dong, Yao, & Yu, 2009), se han ignorado dos características propias del crecimiento de firmas de software, que según Välimäki (2005), conducen a un modelo de mercado no lineal: primero, altas economías de escala (OECD, 2009); segundo, el efecto de contagio entre redes de usuarios (*externalidades de red*³)

3 Las externalidades de red en la demanda se presentan cuando el valor de un producto para un usuario, depende del incremento de número de usuarios que utilizan productos similares. Externalidades de red directas: cuando los adoptadores potenciales se benefician por comprar el producto con mayor base de usuarios. Externalidades de red indirectas: cuando los adoptadores potenciales se benefician de la disponibilidad de múltiples productos compatibles y complementarios. Fuente especificada no válida.

que adoptan múltiples generaciones de productos (*difusión de innovación*⁴ *multigeneracional*) (Li, Shang, & Slaughter, 2010)

El objetivo de esta investigación es explicar el crecimiento de ET en mercados de software estandarizado, utilizando modelado y simulación. Para ello, dos instrumentos teóricos parecen promisorios (Von Westarp, 2003; Kemper, 2010; Dong, Yao, & Yu, 2009). Por un lado la modelación de la difusión multigeneracional de innovación, enfocada en la explicación y el pronóstico del proceso de adopción de generaciones de productos en el tiempo. Por otro, la teoría de los efectos de red, que considera una dinámica en la que los adoptadores potenciales se benefician por comprar el producto con mayor base de usuarios - externalidades de red directas - y con disponibilidad de múltiples productos compatibles y complementarios - externalidades de red indirectas -.

Sin embargo, las simulaciones de Von Westarp (2003), Dong et al. (2009) y Kemper (2010), utilizan modelos tipo Bass (1969) que no proveen la explicación de los mecanismos que conducen al punto de despegue de las ventas, ni el lanzamiento de múltiples generaciones de productos, presentes en los *modos de referencia*⁵ que describen la tasa de crecimiento.

4 La difusión de innovación es un proceso de propagación de nuevos productos o servicios en un sistema social, a través de canales como la publicidad, el boca a boca, las externalidades de red y las redes sociales (Rogers, 1995).

5 Un modo de referencia es un proceso utilizado en dinámica de sistemas para definir un problema. Generalmente, se basa en información histórica y a menudo se describe de forma gráfica (Saeed, 1998).

Estos elementos han sido sugeridos por múltiples autores para explicar el crecimiento de firmas de software (Arora & Gambardella, 2005; Keller & Hüsig, 2009; Sterman J. , Business Dynamics, 2000; Von Westarp, 2003; Kemper, 2010; Peres, R., Muller, E., & Mahajan, V., 2010; D'Costa, 2002), pero en la mayoría de los casos las variables de decisión son parámetros de entrada a los modelos y no consideran las estructuras endógenas que causan el comportamiento.

Ante las limitaciones existentes, se elige dinámica de sistemas por su capacidad de apoyar a nivel teórico, metodológico y técnico, el proceso de descubrimiento y modelado de la estructura a nivel micro y los procesos de toma de decisiones asociados a los modos de referencia descritos en la problemática, de manera que se pueda lograr una correspondencia entre los comportamientos y las estructuras modeladas y simuladas.

El principal interés de utilizar dinámica de sistemas, es aportar al desarrollo de una teoría que articule de forma explícita la estructura matemática que representa el comportamiento del crecimiento de ET y las estrategias de sobrevivencia. La hipótesis central es que la inversión en I&D es al crecimiento de las ventas de una ET, lo que la base de usuarios es al de la Pionera, cuando la ET promueve externalidades de red en la demanda e introduce en el mercado múltiples generaciones de productos más rápidamente que la Pionera.

Para alcanzar el objetivo, se desarrolla un modelo de adopción de múltiples generaciones y externalidades de red

que considera un mercado potencial y coeficientes de innovación e imitación dinámicos y un modelo de precios e inversión en I&D. Se partió de un modelo mono-generacional de crecimiento de una firma de software; posteriormente, se propuso un modelo multi-generacional para dos firmas, tres generaciones y en un ambiente de competencia entre una Pionera y una ET. Finalmente, se explicó el comportamiento del fenómeno de crecimiento de ET al mercado del software, utilizando múltiples simulaciones del modelo. En último lugar, se extrajeron posibles postulados a partir de las conclusiones obtenidas del modelado y la simulación, con el fin de contribuir al desarrollo de una teoría que explique el crecimiento de ET a mercados de software.

El documento se encuentra organizado de la siguiente manera: en el capítulo dos se describe la problemática asociada a los vacíos de conocimiento para explicar de manera lógica, replicable y validable por qué sobreviven algunas firmas de software y otras no. El comportamiento del problema se describe utilizando modos de referencia e identificando la estructura y las políticas de decisión que generan el modo de referencia identificado.

En el capítulo tres se presenta una revisión de la literatura relacionada con el modelado de la difusión de innovación, haciendo énfasis en investigaciones que hayan explicado fenómenos relacionados con el crecimiento de firmas. Los modelos se clasifican de acuerdo con el objeto de estudio. Primero se consideran los modelos que explican el crecimiento con base en el comportamiento individual de usuarios en un mercado heterogéneo y parcialmente conectado;

y segundo, los modelos que describen el comportamiento a nivel macro de potenciales adoptadores, en mercados homogéneos y totalmente conectados.

En el capítulo 4 y 5 se utilizan métodos y herramientas de dinámica de sistemas para desarrollar y validar: primero, un modelo mono-generacional de crecimiento de una firma de software; segundo, un modelo de adopción de múltiples generaciones y externalidades de red; tercero, un modelo de mercado potencial dinámico y cuarto, un modelo de precios e inversión en I&D. Para las validaciones del modelo se realizaron pruebas directas de estructura y de comportamiento con firmas Pioneras y ET en competencia.

En el capítulo 6 se evalúan múltiples escenarios probables y deseables del crecimiento de firmas ET a mercados de software bajo múltiples variaciones de Inversión en I&D y tiempos de entrada de múltiples generaciones de productos.

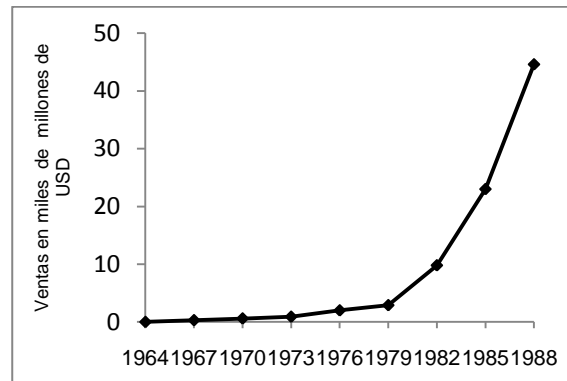
Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas y se plantean las principales líneas de trabajo futuro que complementan la investigación.

2 PROBLEMÁTICA

Según el orden de entrada al mercado, las firmas se clasifican como Pioneras, Seguidoras y Entrantes Tardías (Ansoff & Stewart, 1967). Para Hobday (1995), las firmas Pioneras típicamente tienen un departamento de Investigación y Desarrollo (I&D) y sus capacidades contribuyen directamente a ampliar la frontera científica y tecnológica en su campo. Las Seguidoras están tras las Pioneras, compitiendo en mercados avanzados y evitando algunos de los gastos de I&D a través de la imitación. Las ET habitualmente se desenvuelven en pequeños mercados locales con usuarios poco sofisticados. Existe una creencia generalizada de que la ventaja del primer entrante a mercados de software, confiere el liderazgo tecnológico y la explotación de los *costos de cambio* (Shapiro & Varian, 1998).

La industria de software existe desde mediados de los años cincuenta. Sin embargo, su crecimiento comenzó a finales de la década de los setenta y se atribuye a factores como la decisión de IBM de separar el precio del hardware del precio del software (Keller & Hüsig, 2009). La Figura 2-1 muestra la curva de crecimiento de las ventas mundiales de software entre 1964 y 1985.

Figura 2-1. Curva de crecimiento de las ventas mundiales de software entre 1964 y 1985. Fuente: Campbell-Kelly (1995).



Se observa cómo, en 1970, las ventas de la industria fueron inferiores a USD 0,5 millones y, para 1979, alcanzaron los USD 2 mil millones. Luego, muy rápidamente, las ventas anuales pasaron de USD 10 mil millones en 1982 a USD 23 mil millones en 1985 (Campbell-Kelly, 1995). Este patrón de crecimiento continúa hasta la actualidad; según DATAMONITOR (2010), para 2009 las ventas mundiales de la industria alcanzaron los USD 242,4 mil millones y el pronóstico es de USD 330 mil millones para 2014.

Analistas como Välimäki (2005) y Tan et al. (2010), señalan que la decisión de desagrupación de precios tomada por IBM, determinó un crecimiento industrial *dependiente de la trayectoria tecnológica*⁶, que impulsó la difusión de software para PC, las *externalidades de red en la demanda* y el

⁶ Dependencia de la trayectoria: fenómeno que se presenta cuando eventos aleatorios tempranos determinan el estado final y no reversible de un proceso, a pesar de que todos los estados tengan igual probabilidad de ocurrencia (Sterman J. , 2000).

crecimiento de la *base instalada*⁷ de firmas de software estandarizado, tales como Microsoft Corp. y ORACLE.

Sin embargo, durante pocas décadas, miles de firmas han crecido y desaparecido (Välimäki, 2005). Según Li et al. (2010), entre 1995 y 2007, el 15,9% de las firmas de software salieron del mercado, mientras que de la industria de hardware salieron el 11,5% y de la industria farmacéutica el 4,7%. Hoy en día, sólo han sobrevivido algunas de las firmas que operaban entre 1950 y 1960, y la mayoría de los líderes de la industria actual se establecieron hace menos de treinta años (Välimäki, 2005).

Adicionalmente, las firmas de software tienen una alta tasa de fusión y adquisición (Arora & Gambardella, 2005). En la Tabla 2-1 se muestra que de las quince firmas líderes del mercado de software de seguridad estudiado por Giarratana (2004) entre 1993 y 1998, sólo seis permanecen independientes a 2011.

⁷ Número de usuarios o instalaciones actuales de la tecnología.

Tabla 2-1. Líderes mundiales en el mercado de Software de Seguridad a 1998. Fuente: Autora, con base en Giarratana (2004).

Año de entrada al mercado	Firma	Firmas en la misma cohorte	Firma actualmente Independiente
Firmas Pioneras			
1990	Symantec	8	X
1991	RSA Data Security	17	
1991	Trend Micro		X
1993	Network Ass.	18	
Firmas Seguidoras			
1994	Axent Tech	29	
1994	Secure Computing		
1995	Check Point	35	X
1995	Cylink		
1995	BindView		
Firmas ET			
1997	Entrust Tech.	57	X
1997	Aladdin		
1998	Rainbow Tech.	56	
1998	SystemSoft		
1998	VeriSign		X
1998	Safenet		X

Nótese que entre las firmas listadas por Giarratana (2004), de las seis independientes, dos fueron Pioneras (Symantec y Trend Micro), una Seguidora Temprana (Check

Point) y tres Entrantes Tardías (Entrust Tech., VeriSign y Safenet).

No existe pues, garantía de que las ventajas del Pionero sean suficientes para asegurar una posición permanente en el mercado (Lieberman & Montgomery, 1998). Las ET pueden desarrollar capacidades no logradas por los Pioneros e ingresar cuando las incertidumbres tecnológicas y de mercado hayan sido resueltas. Por ejemplo, en la competencia en el mercado surcoreano de procesadores de texto, con el caso Hancom (hoy Haansoft Corporation) - Microsoft Corp. [ET en este caso] (Tan, Yang, & Xu, 2010).

Lo anterior motiva las preguntas centrales de esta investigación: ¿por qué sobreviven algunas firmas de software y otras no? ¿Es posible explicar de manera lógica, replicable y validable el fenómeno de crecimiento de ET?

2.1 Estructura de costos y la estrategia de precios

En esta investigación, se define la industria de software como un conjunto de firmas que ofrecen productos y servicios de software para servidores y computadores de escritorio (Välimäki, 2005). La estructura de la industria se analiza con base en el grado de estandarización de los productos, como software hecho a la medida y software empaquetado (también llamado estandarizado o genérico); el primero, comparable más con un servicio que con un producto, es desarrollado para un solo usuario (individuo u firma) y el segundo, se ajusta genéricamente a la necesidad de múltiples usuarios (Chudnosvsky, López, & Melitsko, 2001).

El crecimiento de las firmas productoras de software estandarizado tiene dos características distintivas que conducen a un modelo de mercado no lineal (Välimäki, 2005). Primero, altas economías de escala (OECD, 2009). Segundo, el efecto de contagio entre redes de usuarios (*externalidades de red*) que adoptan nuevas generaciones de productos (*difusión de innovación⁸ multigeneracional*) (Liu & Wang, 2003).

2.1.1 El ambiente de innovación en el sector software y las altas economías de escala.

La producción de software es por definición una actividad innovadora porque su objetivo es desarrollar nuevos productos o nuevas maneras de ejecutar tareas de conocimiento (Torrissi, 1998). La innovación en software puede ser vista como el desarrollo de una nueva característica, la introducción de un nuevo producto, una mejora de generaciones anteriores de productos y/o la entrada a un nuevo mercado (OECD, 2009). Esto indica que una firma tiene más *capacidad de innovación⁹* que otra, en la medida en que pueda lanzar un número mayor de innovaciones en el mismo intervalo de tiempo. Según Giarratana (2004), una firma de software sale del mercado cuando no difunde

8 La difusión de innovación es un proceso de propagación de nuevos productos o servicios en un sistema social, a través de canales como la publicidad, el boca a boca, las externalidades de red y las redes sociales (Rogers, 1995).

9 Según Lall (1992) la capacidad de innovación es la destrezas y conocimiento necesarios para absorber, dominar, y mejorar con eficacia las tecnologías existentes, y crear nuevas.

nuevos productos después de dos años de la introducción del producto anterior.

La *capacidad de I&D*¹⁰ ha jugado un papel preponderante en la acumulación de capacidad de innovación de las firmas de software (Li, Shang, & Slaughter, 2010). Por ejemplo en la Tabla 2-2, se observa el coeficiente de correlación entre las ventas y la Inversión en I&D, en una muestra de diez firmas de software.

Tabla 2-2. Correlación entre la inversión en I&D y las ventas anuales para diez firmas de software.

Firma	Correlación entre ventas e inversión en I&D
Yahoo! Inc.	0,970
Google Inc.	0,997
CIMATRON	0,417
ANSYS	0,993
WIPRO	0,703
Microsoft	0,984
VeriSign	0,714
SafeNet	0,964
Autodesk	0,989
Checkpoint	0,994

La alta correlación entre estas variables, permite inferir que las políticas de inversión en I&D afectan fuertemente el crecimiento de firmas. En la Tabla 2-3, se muestran los resultados de una prueba de hipótesis basada en el estadístico Pearson, para verificar la correlación con una confiabilidad del 95% ($p = 0,05$).

10 Capacidad de I&D: se refiere a la capacidad de la empresa para integrar la estrategia de I&D dentro de la estrategia corporativa, gestionar y controlar proyectos de I&D, e invertir en dichos proyectos. Según mide la eficiencia con la cual la firma de software puede convertir la inversión en I&D en un nuevo producto (Li, Shang, & Slaughter, 2010).

Tabla 2-3. Prueba de hipótesis sobre la correlación entre la inversión en I&D y las ventas anuales Fuente: Autora.

Pearson'product - moment correlation	
Data:	Inversion I.D and Ventas
alternative null	false correlation is equal to 0
alternative hypothesis	true correlation is not equal to 0
95% Confidence Interval for correlation	
Lower Bound	0.9789896
Upper Bound	0.9897042
Samples	10
States	Cor: 0.9852852
t value	63.1487
p-value	2.2e-16

La inversión en I&D es un acumulador de capacidad de innovación (Li, Shang, & Slaughter, 2010). Una de las características de los productos de software es que el producto final es altamente dependiente de la inversión en I&D (Li, Shang, & Slaughter, 2010).

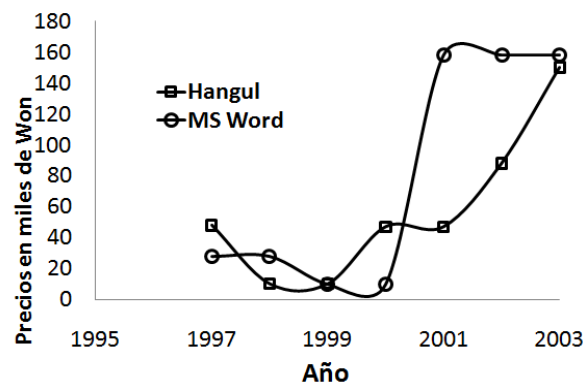
Para la comisión Europea (European_Commission, 2007), las firmas con mayor inversión en I&D como porcentaje de las ventas, son las más rentables. En la industria de software, una vez el producto está totalmente desarrollado, puede ser copiado y distribuido a un costo relativamente bajo y los principales costos de desarrollo de productos se producen en la fase de I&D (Torrissi, 1998).

2.1.2 Economías de escala

El software es un producto intangible con bajos costos de reproducción y altos costos no recuperables en I&D (OECD, 2009). Podría decirse, entonces, que el comportamiento del precio de cada unidad adicional de software, en función del costo marginal, conduce a un beneficio por licencia o por descarga, tendiente a cero.

Por ejemplo, en la Figura 2-2, se ilustra la competencia de precios en el mercado surcoreano de procesadores de texto (Tan, Yang, & Xu, 2010), entre Hancom (hoy Haansoft Corporation) y Microsoft Corp.

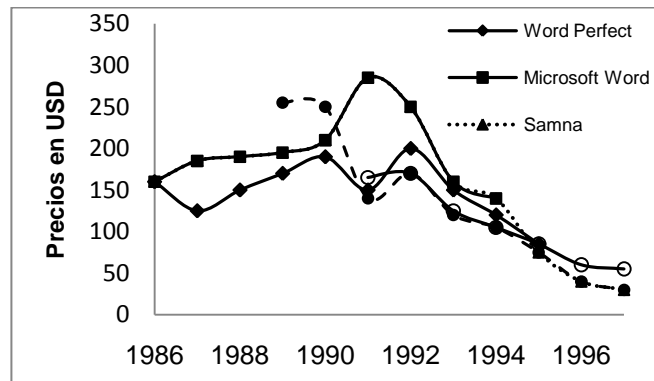
Figura 2-2. Precios de procesadores de texto Hancom y Microsoft Corp en Won. Fuente: Tan et al. (2010)



Como se observa, para 1998 Microsoft comienza su estrategia de bajar los precios y, para 2001, y gracias a las economías de escala, logra que los adoptadores regulares de Hancom superen los costos de cambio y adopten los productos Microsoft. En la Figura 2-3, también se ilustra

otro caso del comportamiento del precio de procesadores de texto en el tiempo.

Figura 2-3. Comportamiento de los precios de procesadores de texto entre 1986 y 1997. Fuente: Von Westarp (2003)



En la Figura 2-3, se observa que entre 1990 y 1992, Samna Word y Word Perfect contaban con la ventaja del primer entrante (Lieberman & Montgomery, 1998) y el dominio del mercado. Sin embargo, Microsoft [ET en este caso], incursionó con un conjunto de aplicaciones de bajo el precio a medida que ganaba base de usuarios (Tan, Yang, & Xu, 2010). Se carece entonces de modelos que expliquen la estructura del comportamiento del precio, en función de la estructura de costos y el comportamiento de la base de usuarios en el tiempo.

2.1.3 Innovación disruptiva y bloqueo de la capacidad de innovación

Ante escenarios de *innovaciones incrementales*¹¹, las firmas Pioneras lanzan múltiples generaciones de productos y

¹¹ Innovación incremental: cambios de productos o procesos "insignificantes", menores o que no involucren un suficiente grado de

aceleran su ritmo de crecimiento, y ante *innovaciones disruptivas*¹², el crecimiento de las Pioneras termina bloqueado por su insuficiente capacidad de innovación. Por ejemplo, el éxito de las *GUI*¹³ sobre las *CUI*¹⁴ y de las aplicaciones de escritorio sobre las aplicaciones en la *nube*¹⁵, es evidencia de que una innovación disruptiva es una amenaza para firmas Pioneras y una oportunidad para ET (Keller & Hüsig, 2009).

La Figura 2-4 a muestra la participación en el mercado de procesadores de texto entre 1986 y 1997 y la Figura 2-4b muestra el *modo de referencia* de las ventas anuales de Microsoft Corp. [fundada en 1975] y Google Inc. [ET fundada en 1998] a partir de reportes financieros publicados hasta 2010.

novedad, refiriéndose esta novedad a la estética u otras cualidades subjetivas del producto (OECD, 2009).

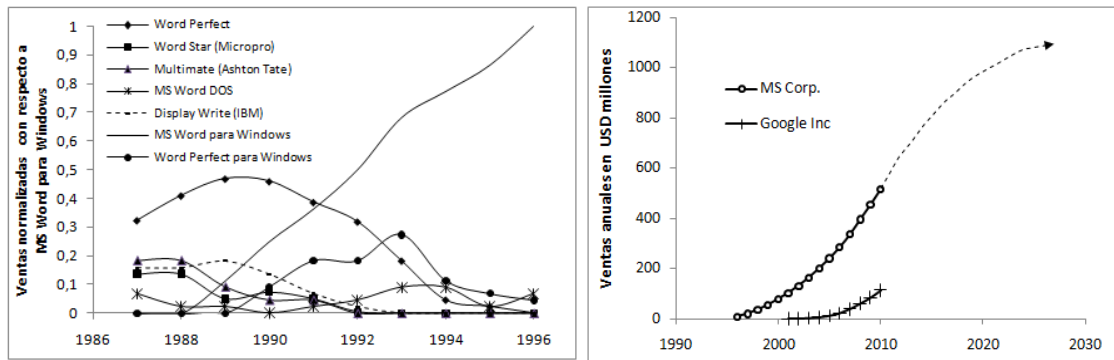
12 Innovación disruptiva: innovación que interrumpe o redefine la trayectoria del funcionamiento del producto o servicio. Las empresas dominantes tienen dificultades para adoptar este tipo de innovación (Keller & Hüsig, 2009).

13 Graphic User Interface - GUI

14 Command-line User Interface - CUI

15 Tradicionalmente, el software se ha distribuido a través de licencias concedidas a perpetuidad. Sin embargo, en los últimos años ha surgido un nuevo modelo de negocios en el que el software pasa a ser un servicio (Software as a Service, SaaS) prestado a través de Internet por datacenters, llamados "nubes". Bajo este nuevo paradigma, el cliente solo paga una fracción del precio con respecto al valor de adquirir una licencia, por usarlo a través de la internet, durante el periodo de tiempo que lo requiera (Armbrust, Fox, & Griffith, 2009).

Figura 2-4.a) Participación en el mercado de procesadores de texto entre 1986 y 1997. **b)** Modo de referencia del crecimiento de las ventas anuales de Microsoft Corp. y Google Inc. Fuente: (Von Westarp, 2003, P. 49); Autora basada en (Microsoft_Corp., 2011) y (Google_Inc., 2011)



En la Figura 2-4b, suponiendo un escenario en el que las ventas del año 2010 de Microsoft corresponden al punto de inflexión en la curva, la proyección entre 2011 y 2025, muestra el posible máximo valor anual de ventas y el inicio del declive de Microsoft, mientras Google Inc. muestra apenas su crecimiento con una concavidad positiva; según Keller & Hüsigg (2009) (2009), Microsoft podría revertir este comportamiento al volcar sus productos hacia la nueva tecnología (por ejemplo *Office Web Apps*¹⁶).

Los cambios tecnológicos hacen que las ventajas competitivas en la industria de software no sean sostenibles a largo plazo; por el contrario, la permanente búsqueda de consolidación de cada nicho de mercado deviene una permanente “destrucción creativa”, donde las innovaciones de

¹⁶ Conjunto de aplicaciones complementarias de MsWord, MSExcel, MsPowerPoint y OneNote que le permiten trabajar con documentos de Office mediante un explorador compatible.

las ET son la fuerza que hay detrás de un crecimiento económico sostenido a largo plazo, pese a que puedan cambiar el ritmo de crecimiento de las Pioneras bien establecidas (Schumpeter, 1942). Según Arthur (1989), ante un escenario de disrupción tecnológica, en un mercado con efectos de red y dependencia de la trayectoria, el proceso de difusión de un nuevo producto es caracterizado por complejidad, no linealidad y difícil pronóstico. Como se observa, este es el contexto de la competencia entre firmas Pioneras y ET en mercados de software.

2.2 Limitaciones en los modelos disponibles

Dos instrumentos teóricos parecen promisorios para el modelado del crecimiento de ET en mercados de software (Von Westarp, 2003; Dong, Yao, & Yu, 2009; Kemper, 2010). Por un lado la modelación de la *difusión multigeneracional de innovación*, enfocada en la explicación y el pronóstico del proceso de adopción de generaciones de productos en el tiempo. Por otro, la teoría de los *efectos de red*, que considera una dinámica en la que los adoptadores potenciales se benefician por comprar el producto con mayor base de usuarios - externalidades de red directas - y con disponibilidad de múltiples productos compatibles y complementarios - externalidades de red indirectas -.

Peres et al. (2010) clasifican los modelos de difusión así: el comportamiento en el nivel macro de los potenciales adoptadores y el comportamiento en el nivel micro de las decisiones individuales de los potenciales adoptadores.

Los modelos de difusión en el nivel macro, parten del modelo de Bass (1969) y sus extensiones (Rahmandad & Sterman, 2008). Típicamente, estos modelos agregan los agentes en un número relativamente pequeño de estados y parten del escenario clásico de un mercado monopolístico, en un sistema social homogéneo y completamente conectado (Dong, Yao, & Yu, 2009). Modelos más complejos como los de dinámica de sistemas, consideran la competencia (Dong, Yao, & Yu, 2009; Maier, 1998).

Por otra parte, la simulación en el nivel micro tiene el potencial de capturar la heterogeneidad de los adoptadores y sus interacciones en una red (Rahmandad & Sterman, 2008). La simulación de la difusión en el nivel micro, considera un conjunto de reglas que permiten medir la tasa de transición entre dos posibles estados del agente (potenciales usuarios y no usuarios), de acuerdo con sus interacciones y el mecanismo de transmisión de estas influencias - boca a boca y efectos de red - (Von Westarp, 2003; Dong, Yao, & Yu, 2009; Kemper, 2010).

De igual manera que los modelos de tipo agregado, la estructura matemática de la simulación en el nivel micro, es definida por tasas de transferencia tal como lo hacen el modelo propuesto por Bass (1969) y sus extensiones; de ahí que la curva suavizada del modelo de Bass (1969) y sus extensiones, no reflejan la evidencia empírica (Renana, Eitan, & Vijay, 2010).

En el modelo propuesto en Bass (1969) y las simulaciones de Dong et al. (2009), se supone que existe una población constante de potenciales usuarios que adoptan

incrementalmente el producto de una firma en el tiempo. En cada tiempo t , los adoptadores de tipo innovador, (α), se incorporan al mercado exclusivamente por influencias externas como la publicidad; y los de tipo imitador, (β), por influencias internas basadas en las comunicaciones "boca-a-boca" entre innovadores e imitadores (Liu, Cheng, Tang, & Eryarsoy, 2011; Peres, Muller, & Mahajan, 2010). A diferencia de los supuestos de los modelos disponibles, en los mercados de software la población de potenciales usuarios no es constante y tanto las firmas Pioneras como las Seguidoras y las ET compiten por un mercado dinámico $N(t)$.

En el tiempo, los usuarios de tipo innovador e imitador pueden adoptar una o varias generaciones de productos (Torrissi, 1998; Chanda & Bardhan, 2008; Varian, 2001). Así mismo, suponer que los coeficientes de innovación (α) e imitación (β) son constantes, implica negar el fenómeno de contagio en los modelos de difusión, tanto por la comunicación entre usuarios innovadores e imitadores, como por los efectos de red.

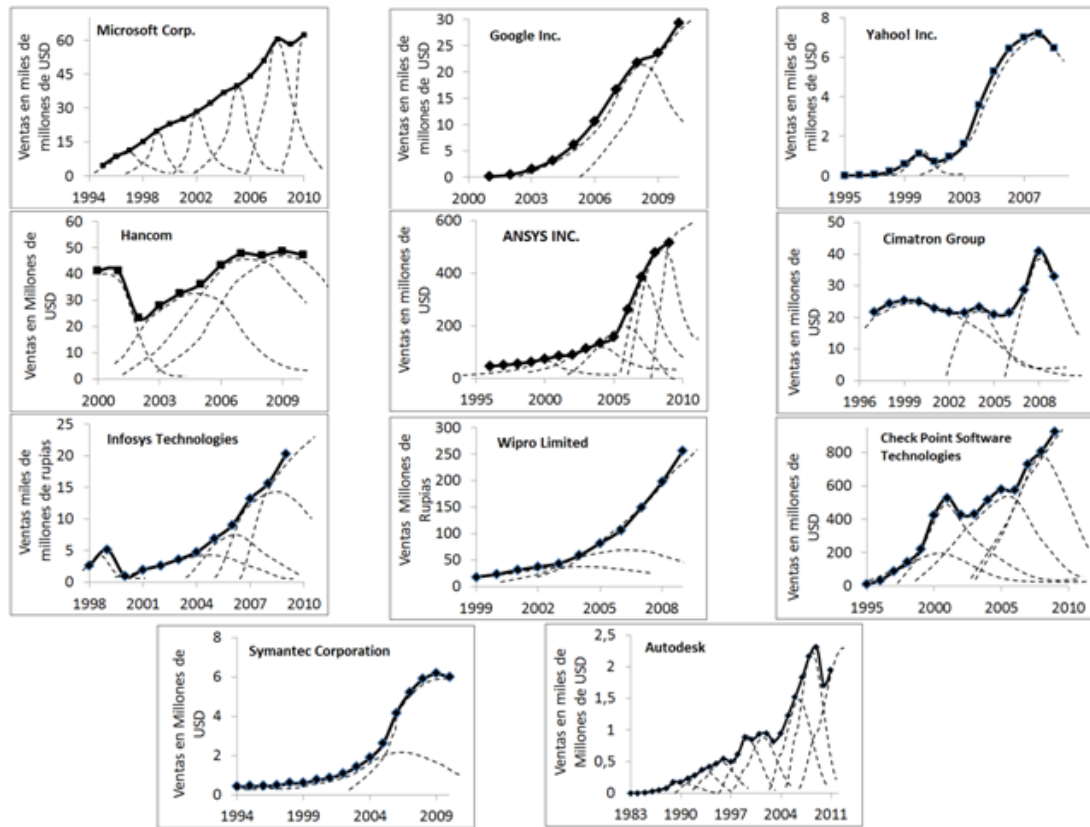
Múltiples analistas han discutido tanto la interacción entre usuarios innovadores e imitadores en la industria de software (Teng, Grover, & Guttler, 2002), como la equivalencia entre la influencia del "boca a boca" y los efectos positivos de red. Según Liu et al. (2010), el efecto boca a boca acelera la difusión cuando la red toma valor y cuando aumenta la disponibilidad de productos compatibles y

complementarios, haciendo que más personas se unan en un ciclo de refuerzo positivo.

Por otra parte tanto el modelo clásico de Bass como las simulaciones de Von Westarp (2003), Dong et al. (2009) y Kemper (2010), no proveen la explicación de los mecanismos que conducen al punto de despegue de las ventas, ni el lanzamiento de múltiples generaciones de productos. La Figura 2-5 muestra los modos de referencia que incluyen los puntos de despegue y silla¹⁷ presentes en la tasa de crecimiento de las ventas, que no están incluidos en la curva suavizada de Bass. Las líneas discontinuas representan algunas de las generaciones (versiones) de producto, reportadas en los informes financieros.

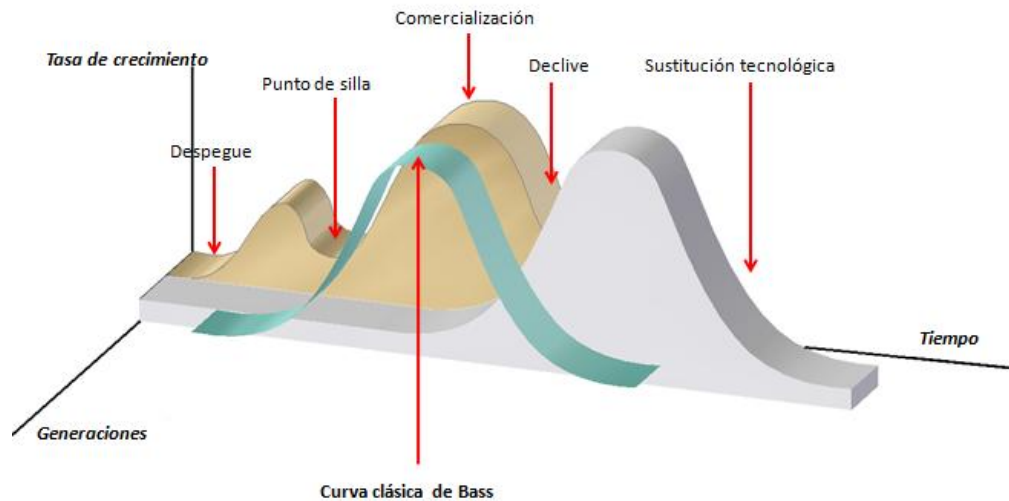
Figura 2-5. Modos de referencia de la tasa de ventas de firmas de software. Fuente: Autora, con base en (INFOSYS, 2011; INFOSYS, 2011; Check_Point_Software_Tech., 2011; SYMANTEC_CORP., 2011; Google_Inc., 2011; Yahoo, 2011; Haansoft, 2011).

¹⁷ Goldenberg et al. (2002) definió el fenómeno de "silla de montar" como un patrón de comportamiento en un primer pico anterior a un descenso considerable.



Siguiendo a Peres et al. (2010), en la **Figura 2-6** se observa una coincidencia entre el comportamiento de la evidencia, Figura 2-5, y los puntos de cambio presentes en la difusión.

Figura 2-6. Puntos de cambio en la difusión. Fuente: (Peres, Muller, & Mahajan, 2010)



Según Peres et al. (2010), los puntos de “silla” observados en las Figura 2-5 y Figura 2-6 pueden atribuirse a eventos macroeconómicos (si todas las firmas muestran los mismos puntos de mínima, por ejemplo ante las recesiones económicas de los años 2000 y 2008) y a la difusión y sustitución de múltiples generaciones de los productos, tal como se muestra en la

, con las líneas discontinuas.

El tiempo de despegue es el momento en el cual ocurre un incremento en las ventas que diferencia el ritmo de crecimiento de la firma. El momento de despegue implica que la inversión en costos no recuperables en I&D ya se realizó, y que es el momento de impulsar las influencias externas como la publicidad y las influencias internas basadas en las comunicaciones “boca-a-boca” y efectos de red (Liu & Wang,

2003), considerando que los costos de copiado y distribución tienden a cero (OECD, 2009).

Tanto la evidencia empírica, Figura 2-5, como la aproximación de Peres et al. (2010), Figura 2-6, muestran un fenómeno que no se ajusta a la forma de la campana típica de ventas propuesta por los modelos tradicionales de difusión de una sola generación de producto. Se puede concluir, entonces, que el modelo de Bass es útil para explicar el comportamiento, con una sola generación de producto y sin competidores; sin embargo, este supuesto es poco realista para las firmas de software estandarizado, cuya competencia y supervivencia dependen directamente de la dinámica de sustitución tecnológica de productos con ciclo de vida corto y bajo efectos de red (Kemper, 2010).

3 DIFUSIÓN DE INNOVACIÓN Y CRECIMIENTO DE FIRMAS DE SOFTWARE ESTANDARIZADO: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

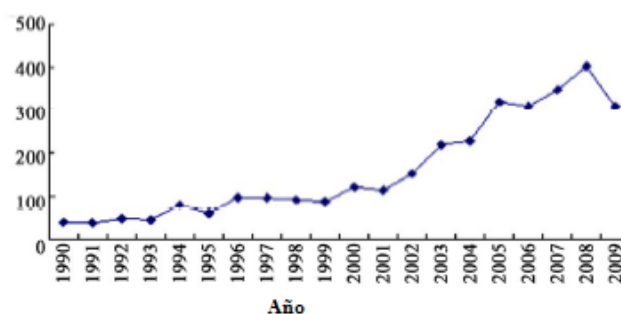
En este capítulo se presenta una revisión de la literatura relacionada con el modelamiento de la difusión de innovación, haciendo énfasis en investigaciones que hayan explicado fenómenos relacionados con el crecimiento de firmas de tecnología. Los modelos se clasifican de acuerdo con el objeto de estudio. Primero se tratan los modelos que explican el comportamiento individual, que consideran un mercado heterogéneo y parcialmente conectado; y, segundo, los modelos que describen a nivel macro los potenciales adoptadores en mercados homogéneos y totalmente conectados. Sin embargo, a pesar de la diferencia, ambos enfoques parten de una estructura matemática común propuesta por Bass (1969), sin considerar características propias del crecimiento de firmas de software, como el comportamiento dinámico del mercado potencial; la difusión competitiva multigeneracional con coeficientes de innovación e imitación dinámicos y en función de los efectos de red; las condiciones atípicas de la estructura de costos y de la estrategia de precios; la inversión en I&D; y los tiempos de entrada de la firma en el mercado y de lanzamiento de sus productos.

Según Li et al. (2010), la industria de software es una prototípica industria "shumpeteriana", en la cual tanto las barreras de entrada y salida como los costos de producción tiende a ser bajos; la innovación ocurre rápida y

disruptivamente y las capacidades de la firma son una ventaja competitiva crítica.

La difusión de innovación es un proceso de propagación de nuevos productos o servicios en un sistema social, a través de canales como la publicidad, el boca a boca, las externalidades de red¹⁸ y las redes sociales (Rogers, 1995). Según Li & Sui (2011), entre 1990 y 2009 se publicaron 3.919 artículos relacionados con contribuciones a la teoría de la difusión de innovación en las bases de datos *Elsevier*, *EBSCO*, *Emerald*, *Scopus* e *ISI*. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**1 muestra el número de publicaciones anuales en este tópico, concentradas principalmente en *journals* como *Technological Forecasting and Social Change*, *Research Policy*, *Technovation*, *Harvard Business Review*, e *International Journal of Technology Management*.

Figura 3-1.Número de publicaciones anuales en difusión de innovación. Fuente: Li & Sui (2011, pág. 157).



18 Las externalidades de red en la demanda se presentan cuando el valor de un producto para un usuario, depende del incremento de número de usuarios que utilizan productos similares. Externalidades de red directas: cuando los adoptadores potenciales se benefician por comprar el producto con mayor base de usuarios. Externalidades de red indirectas: cuando los adoptadores potenciales se benefician de la disponibilidad de múltiples productos compatibles y complementarios.

Los modelos clásicos de difusión de innovación se establecieron a inicios de los años sesenta (Fourt & Woodlock, 1960; Bass F. , 1969; Mansfield, 1961). Tradicionalmente, estos modelos han explicado el fenómeno de difusión de innovación como la propagación de una epidemia en el tiempo, sin considerar variables que influyen en la velocidad de difusión tecnológica por decisiones organizacionales o por dinámicas propias del mercado (Maier, 1998). Sin embargo, los primeros modelos han determinado la estructura de múltiples contribuciones posteriores (Meade & Islam, 2006; Peres, Muller, & Mahajan, 2010; Li & Sui, 2011).

Algunas de las extensiones de los modelos clásicos consideran variables de decisión como precio óptimo y estrategias de publicidad. Sin embargo, generalmente consideran mercados monopólicos (Maier, 1998; Chanda & Bardhan, 2008), sin efectos de red (Von Westarp, 2003; Tanriverdi & Lee, 2008; Kemper, 2010; Liu, Cheng, Tang, & Eryarsoy, 2011).

Si bien estos elementos han sido sugeridos por múltiples autores para explicar el crecimiento de firmas de software (Arora & Gambardella, 2005; Keller & Hüsig, 2009; Von Westarp, 2003; Kemper, 2010; Peres, Muller, & Mahajan, 2010; D'Costa, 2002), en la mayoría de los casos las variables de decisión son parámetros de entrada a los modelos y no consideran las estructuras endógenas que causan el comportamiento de la propagación de productos en el mercado. En consecuencia, este tipo de modelos son útiles para la optimización, pero no para la explicación de estructuras

realimentadas y complejas como las que subyacen al comportamiento de las ventas de firmas de software.

A continuación se presenta un análisis de la literatura para el modelamiento de la difusión de innovación, de acuerdo con el objeto de estudio.

3.1 Modelos de adopción individual

La perspectiva del modelamiento de la adopción individual parte del modelado de cada una de las interacciones individuales entre los usuarios (adoptadores) en un nivel micro, con el fin de representar el sistema a un nivel macro. Para describir el comportamiento de la difusión en el nivel micro se han utilizado herramientas del tipo de sistemas multiagentes.

En esta dirección, Dong, Yao, & Yu (2009) proponen un sistema multiagente para estudiar la difusión de productos de software, bajo el supuesto de un patrón de comportamiento epidémico y considerando la sensibilidad a influencias externas como el efecto "boca a boca". Este enfoque supone una población de usuarios de software dividida en potenciales usuarios y no usuarios. Las transiciones entre las diferentes poblaciones dependen de las interacciones y comportamientos entre las categorías de usuarios y del mecanismo de comunicación entre cada uno de los individuos de la población.

Por otra parte, Kemper (2010) propone un modelo alternativo para modelar la difusión de productos por medio

de un proceso de Markov. Supóngase un mercado constituido por dos poblaciones de adoptadores, aquellos que ya han adquirido una versión de producto, los cuales serán llamados *usuarios* y cuya población se denota por x_u , y aquellos que aún no han comprado pero que lo harán en algún momento, *usuarios potenciales*, con una población denotada por x_p . Sea a_{ij} la probabilidad de que un adoptador sea usuario o potencial usuario debido a la influencia de alguna de las dos poblaciones; así, por ejemplo, a_{uu} es la probabilidad de que un adoptador sea usuario por la influencia de otros usuarios y a_{pu} es la probabilidad de que un adoptador sea potencial usuario por la influencia de la población de usuarios. De esta forma, la población de adoptadores en un tiempo t estará distribuida como se muestra en la Ecuación 1.

$$\begin{aligned} x_u(t) &= a_{uu}x_u(t-1) + a_{up}x_p(t-1) \\ x_p(t) &= a_{pu}x_u(t-1) + a_{pp}x_p(t-1) \end{aligned} \quad \text{Ecuación 1}$$

Como ejemplo, el sistema mostrado en la Ecuación 2 calcula la población de usuarios en un tiempo t , $x_u(t)$, como la suma de la población de usuarios que fueron influenciados por otros usuarios, $a_{uu}x_u(t-1)$, más la población de usuarios que fueron influenciados a comprar el producto en un tiempo $t-1$, por la población de potenciales usuarios. El sistema de ecuaciones se puede representar de forma matricial como lo muestra la Ecuación 2.

$$\begin{Bmatrix} x_u(t) \\ x_p(t) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{uu} & a_{up} \\ a_{pu} & a_{pp} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_u(t-1) \\ x_p(t-1) \end{Bmatrix} \quad \text{Ecuación 2}$$

Si se denota por $U(t)$ a la población total de adoptadores en un tiempo t , $U(t) = \begin{Bmatrix} x_u(t) \\ x_p(t) \end{Bmatrix}$; por $U(t-1)$ a la población total de adoptadores en un tiempo $t-1$, $U(t-1) = \begin{Bmatrix} x_u(t-1) \\ x_p(t-1) \end{Bmatrix}$ y por A a la matriz cuyas entradas son la probabilidades de cada población, entonces la Ecuación 2 toma la forma de la Ecuación 3.

$$U(t) = AU(t-1) \quad \text{Ecuación 3}$$

Si se conoce la distribución inicial (en t_0) de la población de adoptadores, entonces es posible conocer la distribución en el siguiente tiempo (t_1), y así sucesivamente como se observa en la Ecuación 4.

$$U(t_1) = AU(t_0)$$

$$U(t_2) = AU(t_1) = AAU(t_0) = A^2U(t_0)$$

$$U(t_k) = A^kU(t_0) \quad \text{Ecuación 4}$$

De esta forma es posible conocer el estado de la población de todos los adoptadores del mercado a partir de una condición inicial y las probabilidades de cada población. La matriz A contiene las probabilidades dentro de un mercado cerrado (Ecuación 5).

$$\sum_{i,j=1,1}^{2,1} a_{ij} = 1 \quad \text{Ecuación 5}$$

El método presentado por Kemper (2010) puede desarrollarse mediante modelos discretos o continuos, según como se

consideren los coeficientes de la matriz de transición; si la probabilidad tiene en cuenta las influencias de toda una población, entonces se comporta como un modelo continuo; por el contrario, si las entradas de la matriz de transición constituyen todas las posibles influencias entre cada uno de los adoptadores del mercado, entonces el modelo se comporta como discreto.

El modelo de difusión de innovación por proceso de Markov, bien puede representar de una manera simple sistemas de alta complejidad como aquellos que tienen en cuenta las interacciones entre cada uno de los adoptadores en el mercado; sin embargo, por tratarse de un sistema cerrado, no admite la entrada de nuevos usuarios potenciales y, así, la matriz de probabilidad es constante durante todos los estados del sistema.

De acuerdo con Kemper (2010), los modelos de difusión están basados en el paradigma de la base instalada, según el cual, el número de adoptadores es función del tamaño de la red existente. Esta premisa se convierte en el fundamento de varios de los modelos de difusión más usados, cuya expresión general es de la forma representada en la Ecuación 6.

$$\frac{dN}{dt} = g_t(M - N) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde

N : Es el número de adoptadores en un tiempo t .

M : Son los potenciales adoptadores.

g_t : Es una función que define específicamente la tasa de transferencia de los potenciales adoptadores a la población de adoptadores.

De esta función se derivan varios grupos de modelos de difusión; así, por ejemplo, cuando g_t es una constante, el modelo de difusión es exponencial; si $g_t = bN$, el modelo es de tipo logístico; si $g_t = a + bN$, es un modelo de difusión semilogístico, como se verá más adelante. La razón por la cual todos estos modelos tienen curvas y comportamiento similares es porque parten de un modelo subyacente común.

Von Westarp (2003) propone un modelo de simulación basado en agentes, para explicar la difusión de productos de software sujetos a efectos de red y asumiendo el mercado de software como una red en la cual la decisión de compra no es influenciada por la base instalada agregada, sino por un patrón de comunicación interpersonal en una red social. El modelo se presenta en la Ecuación 7.

$$\max_{i=1,\dots,n} \{r_i + f(x_i) - p_i\} \quad \text{Ecuación 7}$$

En el modelo de Von Westarp, r_i es el término que denota la utilidad, independientemente de los efectos de red (es decir, la disposición de un usuario a pagar, incluso si no hay otros usuarios en el mercado); $f(x_i)$ es una función lineal que representa la utilidad debida al efecto de red (es decir, el valor de la externalidad cuando el número de adoptadores es x y p_i es el precio del producto de software). Entonces, el adoptador comprará el producto o servicio que le representa la mayor utilidad, $\max_{i=1,\dots,n} \{r_i +$

$f(x_i) - p_i$ }, no negativa. Esta condición se puede lograr de dos formas: mejorando la utilidad del producto, r_i , mediante versiones sucesivas, o bien ganando en utilidad del producto conforme aumenten los efectos de red a medida que crece el número de adoptadores.

3.2 Modelos de adopción acumulada

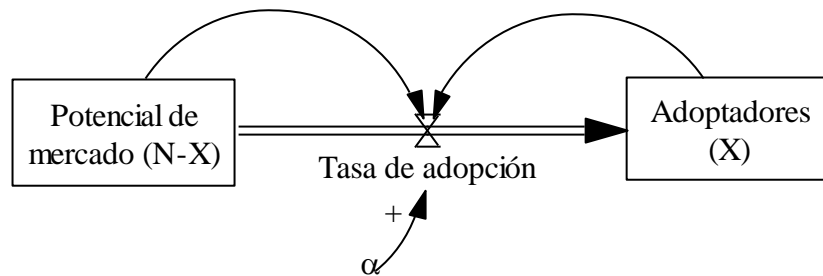
3.2.1 Modelos clásicos de difusión de innovación

Los principales modelos de difusión de innovación se establecieron a finales de los años sesenta (Fourt & Woodlock, 1960; Bass F. , 1969; Mansfield, 1961). Estos modelos fueron planteados bajo una estructura de retroalimentación entre el potencial de mercado y el número acumulado de adoptadores. La Ecuación 8 muestra el modelo de Fourt & Woodlock (1960).

$$\frac{dx}{dt} = \alpha(N - x) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde x representa las ventas acumuladas en un tiempo t , N es el mercado potencial que puede adoptar un producto, $(N - x)$ es el potencial de mercado y α es la probabilidad de adopción debida a influencias externas, como la publicidad, sobre los potenciales adoptadores. En la Figura 2 se muestra un diagrama de flujos y niveles del modelo propuesto por Fourt & Woodlock (1960).

Figura 3-2.Diagrama de flujos y niveles del modelo propuesto por Fourt & Woodlock (1960).



El modelo de Fournier & Woodlock parte de dos supuestos poco realistas para las firmas de software. Primero, los potenciales adoptadores son influenciados exclusivamente por la publicidad; y, segundo, la probabilidad de compra (α) se mantiene constante hasta que el producto es adquirido por la totalidad de la población.

En un mercado altamente competitivo como el de software, el mercado potencial (N) es dinámico, bien por la llegada de adoptadores de otras firmas o bien porque los adoptadores pueden desistir de su decisión de compra y migrar hacia la competencia. Adicionalmente, la probabilidad de compra por publicidad (α) no se mantiene constante hasta que el producto sea adquirido por la totalidad de la población. La probabilidad de compra (α) constante, es propia de otro tipo de mercados como medicamentos, alimentos o productos de primera necesidad.

Por otra parte, Mansfield (1961) propone una forma alternativa para la difusión de innovación de productos desde el punto de vista de influencias internas como el boca a boca. En la Ecuación 9 se plantea la

comunicación entre adoptadores potenciales $(N-x)$ y aquellos adoptadores que ya adquirieron el producto (x) .

$$\frac{dx}{dt} = \beta x(N-x) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde β representa la probabilidad de compra por influencias internas como el boca a boca. Al igual que el modelo de Fourt & Woodlock (1960), el modelo de Mansfield (1961) supone que el mercado potencial (N) y las probabilidades de adopción son constantes, con las consecuencias citadas anteriormente. Adicionalmente, el modelo de Mansfield no considera la probabilidad de compra por influencias externas.

Bass (1969) recoge en su modelo las influencias externas α e internas β en la Ecuación 10. Si la motivación para la compra procede de influencias externas como la publicidad, entonces la tasa de adopción es de tipo innovador y corresponde a la forma $\alpha(N-x)$; por otra parte, cuando la motivación de compra tiene influencias internas, los adoptadores imitan el comportamiento de los innovadores o de otros imitadores y la tasa de adopción es de la forma $\beta \frac{x}{N}(N-x)$. En este caso, la tasa de adopción será la suma de estas dos influencias.

$$\frac{dx}{dt} = \alpha(N-x) + \beta \frac{x}{N}(N-x) \quad \text{Ecuación 10}$$

Los parámetros α y β son interpretados como los coeficientes de innovación e imitación, respectivamente. Debido a su origen, el modelo de Bass, tanto como los de sus

predecesores, tienen las mismas limitaciones respecto al mercado potencial y las probabilidades de adopción. Otros autores han realizado extensiones de los modelos de difusión de innovación, considerando de forma aislada la competencia y múltiples generaciones de productos (Chanda & Bardhan, 2008; Milling & Maier, 1998).

3.2.2 Modelamiento de múltiples generaciones de productos

En Bass (1969), el proceso de difusión está definido para una única generación y cesa cuando el mercado potencial se agota y no hay nuevos adoptadores. Sin embargo, las firmas productoras de software estandarizado se caracterizan por el lanzamiento permanente de nuevas generaciones de productos y ciclos de vida cortos.

El modelo de Norton & Bass (1987) fue el primero en considerar generaciones sucesivas de productos, pero no considera los primeros compradores ni las repeticiones. Estos problemas fueron resueltos para estimar una base instalada en cada período de tiempo. Sin embargo, su modelo considera una industria donde no existe el efecto de la competencia en el proceso de difusión (Altinkemer & Shen, 2008). Analistas como Chanda & Bardhan (2008) y Altinkemer & Shen (2008), extendieron el modelo de Bass & Bass (2001) incorporando la competencia. Sin embargo, la variable de salida de su modelo es ventas acumuladas, lo cual no permite evaluar los puntos de despegue y silla que sólo se visualizan con la derivada de las ventas, ni las tasas de difusión multi-generacional.

Por otra parte, los modelos básicos de difusión están determinados por el decaimiento del mercado potencial con la saturación del número de nuevos adoptadores. Sin embargo, las firmas de software actualizan con frecuencia las generaciones de productos con mejores especificaciones.

Por otra parte, el tema de la sustitución tecnológica ha planteado cuestiones relativas a la heterogeneidad de los potenciales adoptadores. Rogers (1995) proponen una redefinición del concepto de "rezagados"; ellos sugieren que los adoptadores rezagados de una generación previa de producto, frecuentemente pueden convertirse en innovadores de la siguiente generación. Por ejemplo, un usuario innovador de Windows 7, pudo haber sido usuario de Windows XP sin haber comprado Windows Vista. Por lo tanto, los primeros usuarios de Windows 7 no son necesariamente innovadores, algunos pueden haber sido rezagados en generaciones anteriores.

La entrada de una nueva generación tecnológica, hace más compleja la dinámica de crecimiento y genera procesos relacionados con el consumo que no se observan en la difusión de una sola generación (Peres, Muller, & Mahajan, 2010). En primer lugar, la entrada de una nueva generación usualmente aumenta el mercado potencial, lo que justifica la necesidad de que el mercado potencial sea dinámico; y, de acuerdo con la revisión realizada en esta investigación, hasta la fecha no se conocen contribuciones al respecto. Adicionalmente, los usuarios pueden mejorar y reemplazar una generación antigua por una nueva, y los individuos que

pertenecen al mercado potencial pueden decidir entre la adopción del nuevo producto o de la generación anterior.

Chanda & Bardhan (2008) parten del modelo de Bass (1969) e incluyen la difusión de múltiples generaciones de productos, introduciendo operadores que permiten simular el efecto de las ventas acumuladas de generaciones anteriores que aún permanecen en el mercado, sobre las ventas acumuladas del producto actual.

Al resolver la Ecuación 10, se pueden encontrar las ventas acumuladas de una generación de producto. Esta solución es de la forma que se muestra en la Ecuación 11.

$$x = N \left[\frac{1 - e^{-(\alpha + \beta)t}}{1 + \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{-(\alpha + \beta)t}} \right] \quad \text{Ecuación 11}$$

Esta expresión corresponde a un escenario de una sola versión de producto; sin embargo, si se define x_j como las ventas acumuladas de la j -ésima generación del producto en el tiempo, y N_j el mercado potencial de la j -ésima generación del producto durante su lanzamiento al mercado, se puede entonces hacer una diferenciación de la difusión a través de diversas generaciones de producto. Chanda & Bardhan (2008) van más allá y consideran cómo los adoptadores de una generación se pueden transformar en potenciales adoptadores para las siguientes; para esto definen $F_j = \frac{1 - e^{-(\alpha_j + \beta_j)t}}{1 + \left(\frac{\beta_j}{\alpha_j}\right)e^{-(\alpha_j + \beta_j)t}}$ como las ventas normalizadas en el tiempo para la j -ésima generación con un coeficiente de innovación α_j y un coeficiente de imitación β_j .

Entonces, el modelo de Chanda & Bardhan (2008), estructurado sobre las ventas acumuladas para las tres primeras generaciones del producto, da lo siguiente:

Primera generación de producto

Corresponde a la primera difusión del producto en el momento en que no existen versiones previas (Ecuación 12).

$$x_1(t) = N_1 F_1 \quad \text{Ecuación 12}$$

Segunda generación de producto

Bajo este escenario pueden estar en el mercado dos generaciones de producto simultáneamente: la segunda generación que es lanzada en el tiempo τ_2 y la primera que todavía se está difundiendo. En este caso, las Ecuaciones 13 a 17 expresan las ventas de la primera, x_1 , y segunda generación de producto, x_2 .

$$x_1(t) = N_1 F_1(t) [1 - \gamma_2(t)] \quad \text{Ecuación 13}$$

$$x_2(t) = N_2 F_2(t) + A_2(t) + R_2(t) \quad \text{Ecuación 14}$$

Con

$$\gamma_2(t) = \begin{cases} \frac{F_2(t)}{F_1(t) + F_2(t)} & \text{para } t \geq \tau_2 \\ 0 & \end{cases} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$A_2(t) = \bar{x}_1 F_1(t) \gamma_1(t) + \bar{x}_2 F_2(t) \gamma_2(t) \quad \text{para } t \geq \tau_2 \quad \text{Ecuación 16}$$

$$R_2(t) = x_1(t) \int_0^{\tau_1} F_1(t) dt \quad \text{para } t \geq \tau_2 \quad \text{Ecuación 17}$$

En términos generales, las Ecuaciones 15 y 16 se pueden expresar en la forma de las Ecuaciones 15' y 16', para generaciones sucesivas que aparecen en un tiempo $t = \tau_k$.

$$\gamma_i^j(t) = \begin{cases} \frac{F_i(t)}{\sum_{k=j}^i F_k} & \text{para } t \geq \tau_k \\ 0 & \text{para } t < \tau_k \end{cases} \quad \text{Ecuación 18'}$$

$$A_i(t) = \sum_{k=0}^i \bar{x}_k F_k(t) \gamma_k(t) \quad \text{para } t \geq \tau_k \quad \text{Ecuación 19'}$$

Tercera generación de producto

Cuando la tercera generación de producto está en el mercado, es posible que la segunda e incluso la primera aún estén siendo vendidas. Para este caso, las ventas para la primera, x_1 , segunda, x_2 , y tercera generación, x_3 , se expresan según las Ecuaciones 18 a 21.

$$x_1(t) = N_1 F_1(t) [1 - \gamma_2(t) - \gamma_3^1(t)] \quad \text{Ecuación 20}$$

$$x_2(t) = N_2 F_2(t) [1 - \gamma_3^2(t)] + A_2(t) + R_2(t) [1 - \delta_3(t)] \quad \text{Ecuación 21}$$

$$x_3(t) = N_3 F_3(t) + A_3(t) + R_3(t) + R_2(t) \delta_3(t) \quad \text{Ecuación 22}$$

Con:

$$\delta_i(t) = \begin{cases} \frac{\int_0^{\tau_i} F_i(t) dt}{\sum_{j=1}^i \int_0^{\tau_j} F_j(t) dt} & \text{para } t \geq \tau_j \\ 0 & \text{para } t < \tau_j \end{cases} \quad \text{Ecuación 23}$$

Los operadores aplicados a la segunda y tercera generación muestran la forma en que las ventas de versiones anteriores

afectan las ventas actuales. Así, $\gamma_i^{i-1}(t)$ y $\delta_j(t)$ representan la proporción de adoptadores que compran la j -ésima generación de productos para luego saltar a la próxima generación. Estas proporciones son calculadas por medio de estimadores de Bayes en función de las ventas previas de los productos de la $j-1$ ésima generación. Así mismo, $A_j(t)$ representa los adoptadores potenciales del producto j -ésimo y $R_j(t)$ representa los adoptadores que repiten en la compra del producto; este término es recurrente en Olson & Choi (1985), quienes modifican esta función al agregar un factor de vida útil del producto, $\lambda(x,t)$, de modo que la expresión queda como aparece en la Ecuación 22.

$$R_j(t) = \sum_{i=1}^{j-1} [x_{i-1}(t)] \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \lambda(x,t) F_i(t) dt \quad \text{para } t \geq \tau_k \quad \text{Ecuación 24}$$

El modelo de Chanda & Bardhan (2008) hace aportes significativos al modelamiento de diferentes generaciones de producto. Sin embargo, no considera el efecto de competencia entre diferentes firmas ni los efectos de red, y los coeficientes de innovación e imitación, α y β , respectivamente, son constantes a través de las generaciones tecnológicas. Ambas limitaciones dejan la puerta abierta para nuevos trabajos (Chanda & Bardhan, 2008, p.17).

3.3 Modelos de competencia

Cuando se trata de una competencia entre innovaciones disruptivas, los usuarios de tipo innovador corren el riesgo de elegir una innovación que finalmente puede hacerse obsoleta, y los usuarios de tipo imitador esperan hasta

tener claro cuál es el estándar ganador y, más importante aún, cuál es la innovación que saldrá del mercado, como en el caso Microsoft Corp. Vs Google Inc., con MS Office y Google Docs (Keller & Hüsigg, 2009).

La competencia influye en el crecimiento de un nuevo producto y las decisiones tomadas al respecto. En mercados de software, cuando una firma comienza como monopolio, rápidamente otras firmas entran en la competencia. Sin embargo, la existencia de competencia no sólo influye en las interacciones de los usuarios con las firmas, sino también en las interacciones entre usuarios (Kemper, 2010). Por lo tanto, un mercado de software competitivo y en crecimiento, muestra una serie de interdependencias entre los consumidores que no está presente en el caso de un monopolio. Por ejemplo, los problemas de compatibilidad pueden aumentar o disminuir el efecto de las externalidades de red, y la entrada de un nuevo competidor puede interpretarse como una medida de la calidad de un producto (Tan, Yang, & Xu, 2010).

A pesar de la evidencia del fenómeno de crecimiento competitivo en mercados de software, la literatura reciente en difusión se ha utilizado para explicar el crecimiento de monopolios (Meade & Islam, 2006). Los efectos competitivos están relacionados con la tasa de adopción y la tasa de comunicación entre adoptadores y potenciales adoptadores. En cuanto a flujo de adoptadores, las firmas compiten en dos frentes: el primero es la adquisición de una mayor cuota del mercado potencial a costa de sus competidores; el segundo, la estrategia para evitar la pérdida de usuarios y la

atracción de clientes que compran de otras firmas (Peres, Muller, & Mahajan, 2010).

La comunicación entre adoptadores bajo competencia se vuelve más compleja, ya que la comunicación de los consumidores existe dentro y entre las firmas. Una cuestión adicional es si la competencia inter-generacional aumenta o retrasa el crecimiento de las firmas. El trabajo de Warren (2002) explica las diferentes estructuras de rivalidad; sin embargo, no propone una representación formal del fenómeno.

Tan, Yang, & Xu (2010) sugieren dos aproximaciones para el modelamiento de la competencia en el mercado de software. La primera considera mercados estáticos a corto plazo o estables a largo plazo, pero no considera las interacciones dinámicas entre firmas competidoras. En este sentido, sugiere que la primera firma en entrar al mercado podría ser capaz de ganar participación convirtiéndose en el jugador dominante. Entonces, el primer entrante con solo ingresar al mercado podría ganar beneficios tempranamente. El bloqueo de los consumidores, con frecuencia, ocurre debido a la inercia inducida por los productos adoptados, lo que se convierte en una dificultad para que las empresas entrantes tardías consigan una posición sólida.

Si bien ser pionero en un mercado emergente puede facilitar la acumulación de recursos y capacidades superiores (*first mover advantages*), las ganancias del pionero atraen imitadores (Lieberman & Montgomery, 1998). Adicionalmente, la ventaja del primer entrante no siempre

equivale a una participación mayoritaria en el mercado (Tan, Yang, & Xu, 2010).

La segunda aproximación es el modelamiento del mercado a través de juegos dinámicos con muchos episodios para capturar el comportamiento estratégico bajo una estructura dinámica del mercado. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han enfocado en la ley antimonopolio y la evidencia empírica ha sido restringida a los mercados de software en Estados Unidos o al dominio del mercado por parte de Microsoft. Tan, Yang, & Xu (2010) consideran una estructura diferente del mercado, donde una entrante tardía con fuerte presencia en otros países como Microsoft, enfrenta a un pionero surcoreano, Hancom, que tiene el 83% del mercado doméstico de procesadores de texto.

Por otra parte, en la competencia entre firmas de software se coopera en el desarrollo de un mercado emergente con un estándar común, que de otra manera quedaría sin explotar. Pero una vez el estándar emerge, la coexistencia de productos rivales depende del tamaño del mercado y el grado de competencia (Kemper, 2010).

En muchos casos, las firmas pequeñas desaparecen o se fusionan con firmas más grandes, debido a su pequeña base instalada de usuarios y a escasos presupuestos para inversión en I+D. En esta industria, cuando el producto de una firma es exitoso, genera importantes ganancias; en caso contrario, la firma pierde el mercado y el producto es reemplazado por el de otros competidores que rápidamente lo sustituirán. Por esta razón, una vez que un fabricante ha

logrado participación en el mercado, la defiende mediante el desarrollo de nuevas generaciones y el recurso a la protección legal (Torrissi, 1998).

Las innovaciones disruptivas son una característica clave de los mercados de software que está estrechamente relacionada con el corto ciclo de vida del producto (Kemper, 2010). Los rápidos cambios de los requerimientos de los clientes, la acelerada evolución tecnológica y la desaparición gradual de las fronteras geográficas, hacen que las ventajas competitivas en el software no sean sostenibles a largo plazo; por el contrario, la competencia en la industria de software y la permanente búsqueda de consolidación de cada nicho de mercado, deviene en una permanente destrucción creativa donde las innovaciones de los emprendedores son la fuerza que hay detrás de un crecimiento económico sostenido a largo plazo, pese a que puedan destruir en el camino el valor de compañías bien establecidas (Schumpeter, 1942).

Tomando como partida el modelo de Bass (1969), Maier (1998) propone un modelo con competencia de múltiples firmas en una forma dinámica. Sin embargo, este modelo no permite una retroalimentación del mercado potencial. En la Ecuación 23 se presenta el modelo de Maier (1998), basado en Bass (1969) para firmas en competencia.

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha_i(N - x_i) \frac{\phi_i}{\sum_{i=1}^k \phi_i} + \frac{\beta_i}{N} \left(\frac{x_i}{\sum_{j=1}^k x_j} \right)^{-\gamma} (N - x_i) \phi_i \sum_{j=1}^k x_j \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

x_i : Ventas acumuladas en el tiempo t de la firma i

α_i : Coeficiente de innovación de la firma i

β_i : Coeficiente de imitación de la firma i

N : Mercado potencial

ϕ_i : Factor de presencia de la firma i en el mercado. Es decir, si la firma i aparece en el mercado, entonces $\phi_i = 1$; en otro caso $\phi_i = 0$.

γ : Parámetro que representa una medida de la lealtad del consumidor, con diferentes valores en diferentes mercados. Los valores de γ se pueden interpretar como $\gamma \geq 1$, cuando la firma ejerce fuerte influencia en el total de adoptadores; y $0 < \gamma < 1$, cuando la firma ejerce poca influencia.

Puede notarse que si se trata de un mercado monopolístico, el valor de ϕ_i es igual a 1 para la primera firma y 0 para todas las demás.

Como se observa, el modelo de Bass (1969) no considera versiones sucesivas discretas de productos, y el modelo de Maier (1998) parte del supuesto de que el comprador adquiere una sola generación de producto, lo cual es poco realista para el caso de software estandarizado.

3.4 Otros modelos de difusión

Otros modelos de difusión de innovación continuos para las ventas (x) de un producto en función del tiempo (t) son:

3.4.1 Modelos de Gompertz & Gompertz-Chow (Chow, 1967)

Los modelos tipo Gompertz introducen los efectos de retroalimentación entre las ventas y el mercado potencial, al hacer la tasa de ventas dependiente de las ventas acumuladas (ver Ecuación 24); sin embargo, presenta una singularidad al inicio cuando introduce una función logarítmica, lo cual significa que no admite una cantidad nula de adoptadores.

$$\frac{dx}{dt} = -\beta(t)x(t)\ln(x(t)) \quad \text{Ecuación 26}$$

Por otra parte, los modelos de Gompertz no hacen una diferenciación entre los tipos de adoptadores, de modo que los efectos de red son mucho más difíciles de considerar en estos modelos. Finalmente, estos modelos tienen o bien un decaimiento muy rápido en el tiempo o nunca lo tienen; nótese que la función sólo es creciente en un intervalo de ventas acumuladas muy reducido en comparación con cualquier extensión de un mercado potencial.

3.4.2 Modelos logísticos (Griliches, 1960)

Estos modelos se caracterizan por tener unas tasas de crecimiento muy altas al comienzo y luego decaer rápidamente

dejando tasas de adopción muy bajas durante gran parte del intervalo de simulación (ver Ecuación 25).

$$\frac{dx}{dt} = \beta(t)x(t)^n(1 - x(t))^m \quad \text{Ecuación 27}$$

Esto es particularmente útil para la modelación de la difusión muy rápida de productos en un mercado con una saturación igualmente rápida.

Modelo de la transformada potencial inversa.

Su tasa de ventas es monótonamente decreciente, para todo factor k mayor a cero (ver Ecuación 26).

$$\frac{dx}{dt} = \frac{b}{k}(1 + kt)^{\frac{k-1}{k}} \quad \text{Ecuación 28}$$

Esta es una función que tiene como variable independiente el tiempo, de modo que no tiene en cuenta efectos de retroalimentación entre los adoptadores. Tampoco hace una diferenciación entre los tipos de adoptadores.

3.4.3 Modelo exponencial

Es un modelo monótonamente creciente y dependiente del tiempo y únicamente del tiempo (ver Ecuación 27).

$$\frac{dx}{dt} = \frac{b}{k}e^{(kt-t)} \quad \text{Ecuación 29}$$

Dada la naturaleza de la función, no resulta apropiada para el modelamiento de un mercado de productos donde el número de adoptadores potenciales es limitado o, al menos, no es infinito; la razón es que una función exponencial

crece indefinidamente, así como su integral, lo que significa que la tasa de ventas se hace indefinidamente grande conforme aumenta el tiempo de difusión del producto. Solo productos con un atractivo casi adictivo podrían tener este patrón de crecimiento.

3.5 Modelamiento de los efectos de red

La teoría de los *efectos de red* considera una dinámica en la que los potenciales adoptadores se benefician por comprar el producto con mayor base instalada (externalidades de red directas) y con disponibilidad de múltiples productos compatibles y complementarios (externalidades de red indirectas) (Kemper, 2010). Esto sucede, por ejemplo, cuando los usuarios obtienen una mayor utilidad de una plataforma de sistema operativo a medida que más clientes la adoptan y cuando las firmas desarrollan y comercializan aplicaciones complementarias para la plataforma y aumentan aún más la utilidad de ésta (Tanriverdi & Lee, 2008).

La literatura sobre el modelamiento de la difusión de innovación, en general, no separa los dos factores y los modelos clásicos inician con la adopción espontánea de un grupo inicial de adoptadores; así, no proporcionan explicaciones sobre los mecanismos que conducen a esta adopción inicial o al despegue de la misma.

Sin embargo, existe una larga tradición en el área de los estudios de la difusión de innovación en mercados de alta tecnología que afirma que los efectos de red son concluyentes para determinar la tasa de difusión de un

producto (Chanda & Bardhan, 2008). A continuación se presenta una revisión de aproximaciones analíticas y empíricas que consideran los efectos de red.

3.5.1 Modelos analíticos

Oren, Smith & Wilson (1982)

La propuesta de estos autores maximiza la disposición de compra de los consumidores a partir de la externalidad red de la demanda. El objetivo es encontrar los valores de la externalidad de la demanda (Y) tal que se satisfaga la Ecuación 28.

$$w(q, t, Y_i) > w(q, t, Y_{i+1}) \text{ Con } Y_i > Y_{i+1} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde w es la disposición a pagar de un comprador para las primeras q unidades de consumo; $t \in [0,1]$ es una variable que define el tipo de consumidor (cuando t tiende a cero, representa los primeros compradores y cuando tiende a 1 representa los últimos en adquirir el producto). $\frac{\partial w}{\partial q} < 0$ y $\frac{\partial w}{\partial t} < 0$ implica que a medida que el producto se difunde en el mercado, la disposición a pagar por parte de nuevos potenciales consumidores disminuye, de modo que el objetivo de la función es encontrar los valores de Y tales que $\frac{\partial w}{\partial q} > 0, \forall q, t$.

Katz & Shapiro (1985)

Mediante este modelo se busca estimar la utilidad generada por los efectos de red asociados al producto. Para ello, los autores desarrollan un modelo estático de oligopolio para analizar los mercados con externalidades de red (ver Ecuación 29).

$$U = r + v(y_i^e) - p_i \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde U es la utilidad que el consumidor recibe por el producto, r es la disposición a pagar por el bien, $v(y_i^e)$ es el valor que adquiere el bien por la externalidad de red y p_i el precio del producto.

Oren & Dhebar (1985)

Este modelo calcula la utilidad del consumidor en presencia de externalidades de red, buscando que los precios maximicen los beneficios para los clientes de la firma, de modo que sus productos sean más atractivos que los de la competencia (ver Ecuación 30).

$$CS(q, \eta, t, X) = w(q, \eta, X) - R(q, t) \quad \text{Ecuación 300}$$

Donde $CS(q, \eta, t, X)$ es la utilidad para el consumidor, q representa las primeras unidades de consumo, η es una variable que define el tipo de consumidor, t es el tiempo, X el conjunto de posibles consumidores y $R(q, t)$ el precio.

Farrell & Saloner (1986)

Estos autores proponen un modelo lineal de parámetros fijos para las utilidades en función del tamaño de la red

(teniendo en cuenta que el tamaño de la red no se distribuye necesariamente de forma lineal) que complementan con una función de optimización de la utilidad (ver Ecuación 31).

$$u(x) = a + bx \quad \text{Ecuación 31}$$

Siendo $u(x)$ la utilidad derivada para el consumidor dada una red de tamaño x , a la utilidad del bien independientemente de la red y b la utilidad por unidad de tamaño de red.

Church & Gandal (1996)

Estos autores calculan los efectos indirectos de red por medio de la función de utilidad; luego hacen un análisis de beneficio y de equilibrio igualando las utilidades de dos firmas para luego despejar la base instalada de la i -ésima firma (ver Ecuación 32).

$$V_i = (1 - \beta)N_i^\beta + y + \alpha - p_i - t_i \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde V_i es la utilidad indirecta que recibe el consumidor de la i -ésima firma, β una medida de la utilidad indirecta que se obtiene por el número de productos de software compatibles, N_i^β es el número de versiones con las cuales es compatible el producto de la firma i -ésima, y es el presupuesto del que dispone para comprar el consumidor, p_i es el precio del producto y t_i es la participación en el mercado.

Economides (1996)

Este autor calcula el tamaño de una red de usuarios y propone un modelo de externalidades positivas de red y masa crítica (ver Ecuación 33).

$$h(n^e) = K + \delta f(n^e) \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

$h(n^e)$: Externalidades de red

n^e : Tamaño de la red ($0 < n^e < 1$)

K : Valor del bien en ausencia de efectos de red

δ : Indicador ($0 < \delta < 1$; $\delta=1$ si existen externalidades de red)

$f(n^e)$: Mide el efecto de red

Kemper (2010)

Este modelo calcula los efectos directos e indirectos de red y simula la difusión en redes complejas de usuarios (ver Ecuación 34).

$$nu(i, t) = nu^{DNE}(i, t) + nu^{INE}(i, t) - p_s(i, t) \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

$nu(i, t)$: Utilidad neta para el adoptador

nu^{DNE} : Utilidad directa de red

nu^{INE} : Utilidad indirecta de red

$p_s(i, t)$: Precio del producto

3.5.2 Modelos empíricos

La mayoría de las aproximaciones empíricas intentan probar la relevancia de los efectos de red en la difusión de productos de software, hardware y telecomunicaciones. En general, estos análisis asumen que los efectos de red se derivan de características del producto (por ejemplo, interfaces para intercambio de datos con otras aplicaciones). Von Westarp (2003, p. 100) muestra varias aproximaciones en las cuales, mediante el uso de análisis de regresión, se estima una función de *precio hedónico*¹⁹ de productos sujetos a efectos de red.

En una revisión de modelos para la estimación de los efectos de red realizada por Von Westarp (2003, p. 100), se destaca el modelo de Gandal (1994), en el cual se presenta una estimación para la valoración de la externalidad indirecta de red en el mercado de hojas de cálculo a partir de un análisis de precio hedónico. Gandal considera el índice de precio hedónico como medida de las externalidades de red, bajo el supuesto de que el precio que los consumidores están dispuestos a pagar es función de las variables relacionadas con la preferencia del usuario, la

¹⁹ El método hedónico para el análisis de precios, supone que el precio de un producto es la suma de los precios de sus características o atributos.

compatibilidad y la complementariedad. La estructura del modelo se presenta en la Ecuación 35.

$$\ln(PRECIO_j) = \sum_{i=m}^n a_m y_m \quad \text{Ecuación 315}$$

Donde:

$PRECIO_j$: Precio de la generación j –ésima del producto. Se calcula como su logaritmo natural, ya que su valor numérico, en comparación con el del resto de variables, es de varios órdenes de magnitud mayor.

a_m : Coeficiente de la regresión lineal de la m ésima variable

y_m : m –ésima variable

Después de hacer una regresión para encontrar un estimado, se evalúa el peso que cada una de las variables tiene sobre el precio. Si bien esta propuesta no entrega una métrica específica de los efectos de red, sí proporciona una medida indirecta ya que cada usuario valora no solo el producto sino a la red que lo respalda.

3.6 Conclusiones

Este capítulo presenta una revisión de la literatura, útil para el modelamiento del crecimiento de firmas de software, bajo la perspectiva de la difusión de innovación y los efectos de red. En el capítulo se identifican las limitaciones de los modelos para describir el fenómeno de la difusión de los productos de software estandarizado en

mercados competidos, así como para explicar de manera lógica, replicable y validable los mecanismos que conducen al crecimiento de firmas de ingreso tardío a estos mercados.

Los principales modelos de difusión de innovación se establecieron a finales de los años sesenta y sus múltiples modificaciones y aplicaciones confirman su vigencia como tema de investigación; sin embargo, el modelamiento y el pronóstico de la difusión de software se ha enfocado en mercados monopólicos y mono-generacionales, sin considerar ni las generaciones sucesivas, ni la sensibilidad a los efectos de red.

En el trabajo que aquí se presenta, el principal interés de utilizar el modelamiento matemático es aportar al desarrollo de una teoría que explique el comportamiento del sistema real y diseñar posibles estrategias que contribuyan a mejorar la competitividad y el crecimiento de las firmas de software, aprovechando que las herramientas de simulación de modelos matemáticos permiten obtener trayectorias para las variables incluidas en el modelo, mediante la aplicación de técnicas de simulación de bajo costo computacional.

A pesar de la importancia del problema, en los modelos disponibles (Von Westarp, 2003; Kemper, 2010; Dong, Yao, & Yu, 2009), se han ignorado dos características propias del crecimiento de firmas de software que, según Välimäki (2005), conducen a un modelo de mercado no lineal: primero, altas economías de escala (OECD, 2009); y, segundo, el efecto de contagio entre redes de usuarios (externalidades de red) que adoptan múltiples generaciones de productos

(difusión de innovación multigeneracional) (Li, Shang, & Slaughter, 2010).

En conclusión, no obstante que la literatura sobre el tema es extensa, los aportes al desarrollo de modelos que busquen generar una comprensión integral del proceso dinámico de competencia que incluya firmas de software que ingresan tardíamente al mercado, son insuficientes. En particular, se observan deficiencias en la consideración simultánea de la difusión competitiva multigeneracional de productos de software sometidos a efectos de red, producidos y comercializados por firmas que difieren en sus tiempos de entrada al mercado y de lanzamiento de nuevas generaciones de productos, sobre la base de una acumulación heterogénea de capacidades de innovación y con diferentes niveles iniciales de estas capacidades. En ausencia de modelos de simulación que representen adecuadamente estos factores críticos de competitividad, es difícil avanzar en la simulación de escenarios que posibiliten el análisis estratégico de la industria colombiana de software, para efectos de generar orientaciones válidas para su crecimiento en mercados altamente competidos.

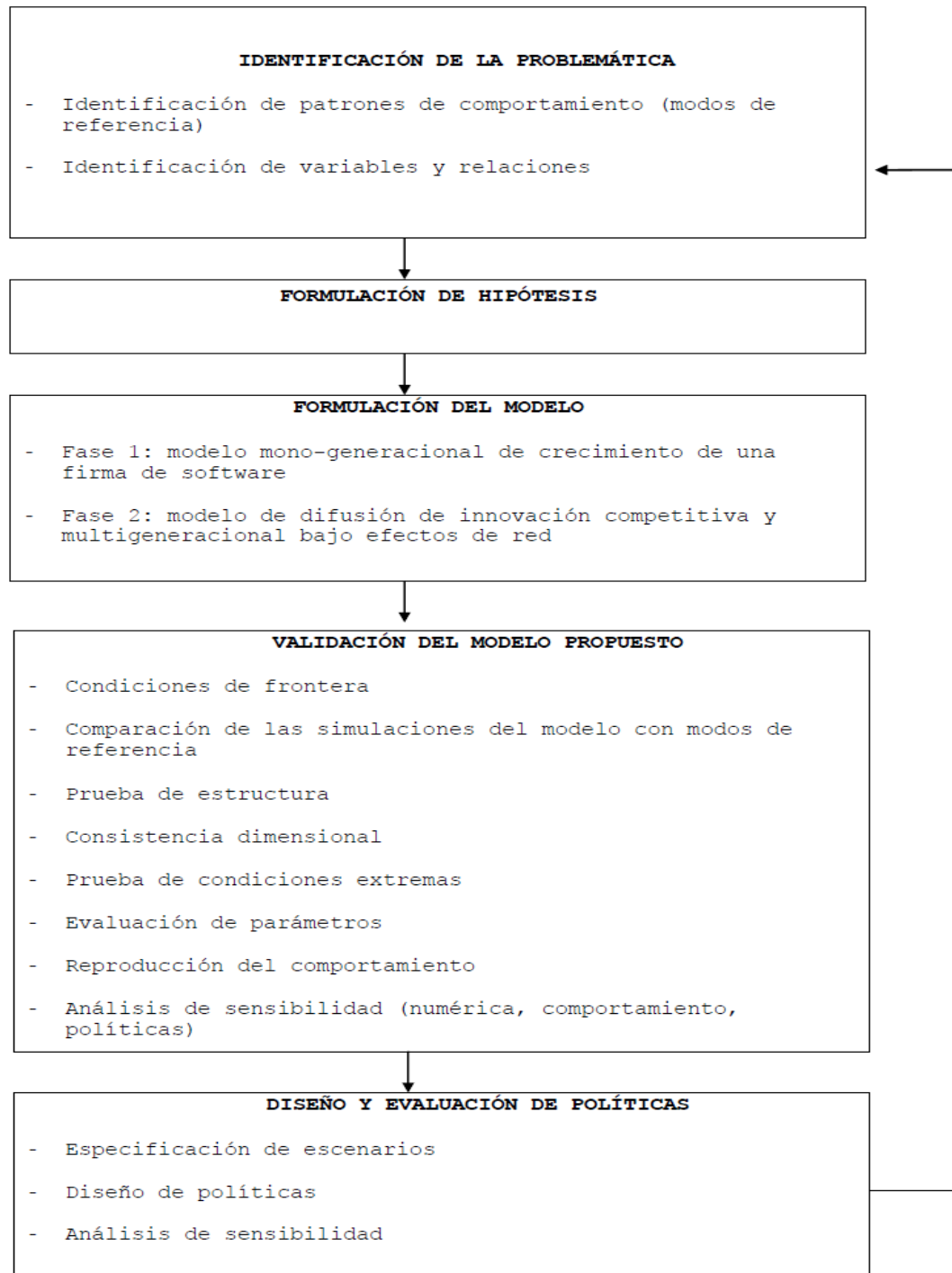
4 METODOLOGÍA

En el capítulo anterior se presentó una revisión de la literatura relacionada con el modelado de la difusión de innovación, sus aplicaciones y limitaciones para explicar el crecimiento de firmas ET en mercados de software estandarizado. En este capítulo se presenta la metodología para abordar el problema, tratando de superar los vacíos de conocimiento que impiden explicar de manera lógica, replicable y validable por qué sobreviven algunas firmas de software y otras no.

La solución propuesta parte de identificar la estructura matemática subyacente al modo de referencia identificado en el capítulo dos. Para tal fin, se construirá, validará y simulará un modelo siguiendo a Sterman (2000) y a Barlas (1996). La

Figura 4-1 muestra la metodología propuesta.

Figura 4-1.Metodología



A continuación se parte definiendo una hipótesis dinámica acerca de las variables, parámetros y relaciones que

determinan la estructura matemática del comportamiento identificado en el capítulo dos. Se propone un modelo capaz de explicar el crecimiento de ET como consecuencia endógena de la estructura de retroalimentación entre el comportamiento dinámico del mercado potencial y la difusión competitiva multigeneracional, considerando también coeficientes de innovación e imitación dinámicos en función de los efectos de red.

Para modelar las variables y relaciones relevantes, se parte del desarrollo de un modelo mono-generacional de crecimiento de una firma de software. Posteriormente se aumenta su complejidad hasta explicar el fenómeno con un modelo multigeneracional con efectos de red y mercado potencial dinámico para dos firmas, tres generaciones y en un ambiente de competencia entre una Pionera y una ET; se considera que bajo estas condiciones el modelo adquiere generalidad suficiente.

En algunos de los modelos revisados en el capítulo anterior, se observó que las variables de decisión son parámetros de entrada y que los modelos no consideran las estructuras endógenas que causan el comportamiento del crecimiento de las ventas. En esta investigación se modelan las estrategias de precios en función del tiempo y de la base de usuarios, la inversión en I&D y el tiempo de entrada, no como parámetros que conduzcan a un modelo útil para la optimización, sino para la explicación de estructuras realimentadas y complejas que subyacen al comportamiento de las ventas de firmas de software. Para el modelado, se parte de los siguientes supuestos:

- a. El indicador de crecimiento de las firmas es la tasa de venta anual (Peres et al., 2010).
- b. En la fabricación de software estandarizado, los principales costos para el desarrollo del producto ocurren en la fase de I&D (OCDE, 2009).
- c. La estrategia del precio en el tiempo es función del comportamiento de la base de usuarios.
- d. La *inversión en I&D*²⁰ es un indicador de capacidad de innovación. La entrada necesaria para acumular capacidad en I&D es el porcentaje anual de ventas destinado a inversión en I&D y la salida se mide en número de nuevas *generaciones*²¹ de producto que se difunden en el mercado (Li, Shang, & Slaughter, 2010).
- e. En mercados de software estandarizado, tanto el crecimiento de la Pionera como el de la ET son función de la inversión en I&D y del retardo en el tiempo de entrada al mercado de las múltiples generaciones de productos. El mercado potencial es dinámico en función de los efectos de red (β) considerados por Liu et al. (2011).

20 El Manual de Frascati (OECD, 2002), define la Investigación y el Desarrollo Experimental (I&D), como "un proceso que combina ciencia y tecnología, a través del trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones".

21 Una generación tecnológica es definida como un conjunto de productos similares en las características percibidas por el cliente y la aparición tecnológica es el año en el cual la generación tecnológica fue lanzada comercialmente (Peres et al., 2010)

f. Una firma de software sale del mercado cuando no difunde nuevos productos después de dos años de la introducción del producto anterior (Giarratana, 2004).

Una vez el resultado del proceso de modelado se deba a una hipótesis dinámica que represente la estructura observada y simulada y se ajuste a los históricos descritos con los modos de referencia, se seguirá el proceso de validación propuesto por Barlas (1996).

5 MODELADO DEL CRECIMIENTO DE FIRMAS ENTRANTES TARDÍAS EN MERCADOS DE SOFTWARE ESTANDARIZADO.

En este capítulo se propone un modelo para simular el comportamiento de las ventas de dos firmas en competencia en un mercado de software estandarizado; una firma Pionera y una que ingresa tardíamente. El crecimiento de las ventas es modelado en función de la difusión y sustitución de múltiples generaciones de productos, con un mercado potencial dinámico regulado por efectos de red. El modelo considera adicionalmente estrategias de precio e inversión en I&D y tiempo de entrada.

La hipótesis central de esta investigación es que el comportamiento descrito en los modos de referencia presentados en el capítulo 2, es caracterizado por conexiones causales en el marco de dos bases teóricas: difusión multigeneracional de innovación y los efectos de red. Adicionalmente, se conjetura que la inversión en I&D, es al crecimiento de la ET lo que la base instalada es al de la Pionera, cuando la ET induce efectos de red en la demanda e introduce en el mercado múltiples generaciones de

producto más rápidamente que la Pionera. En la

se muestra la hipótesis dinámica propuesta.

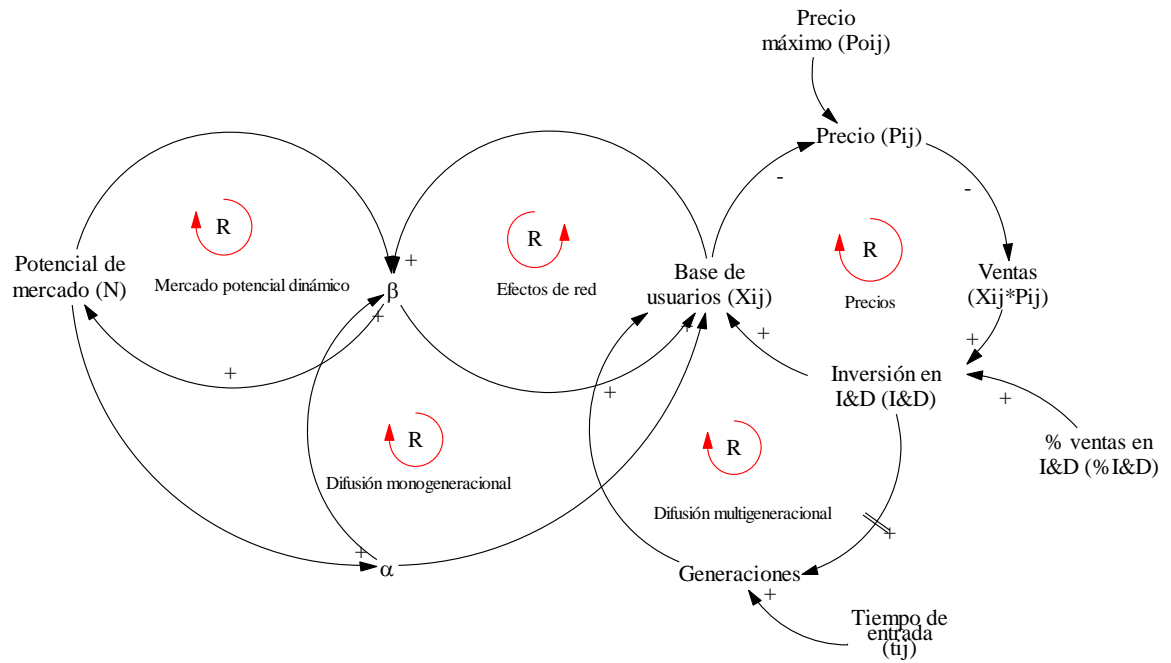


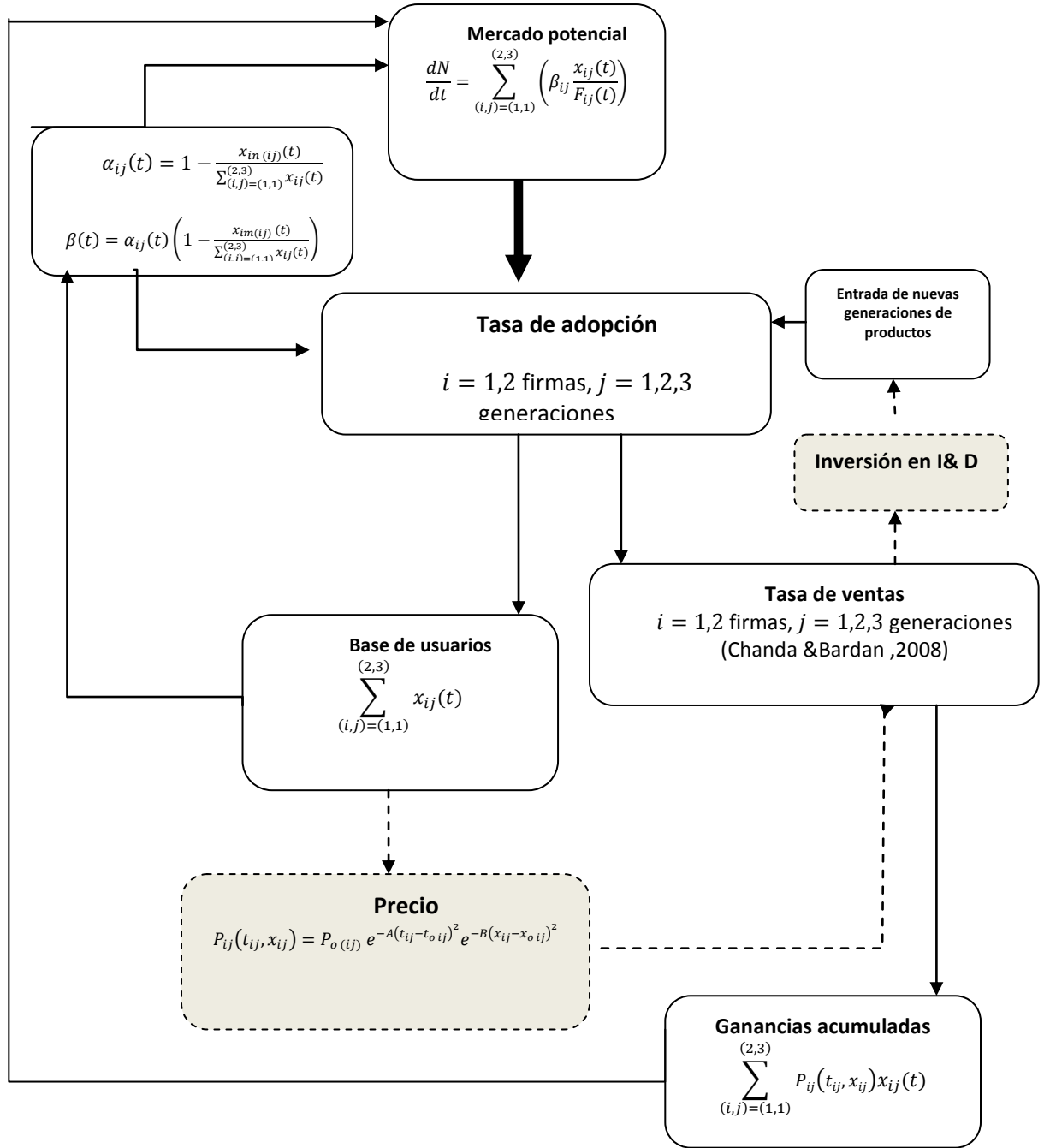
Figura 5-1. Hipótesis dinámica.

A diferencia del modelo clásico de Bass (1969), en el modelo propuesto para esta investigación se consideran dinámicos tanto el coeficiente de adopción debido a influencias externas, (α), (tales como publicidad), como el coeficiente de adopción, (β), debido a influencias internas (tales como los efectos de red, Liu et. al., 2010). La principal variable para la medición de crecimiento de las i firmas es la tasa de ventas, $\frac{dx_{ij}}{dt}$ en función de la tasa de adopción de las generaciones de productos j ($j = 1 \dots 3$) de la

firma $i(i = 1,2)$. En la

se muestra el esquema del modelo propuesto.

Figura 5-2. Esquema del modelo propuesto.



Con el fin de que una ET crezca en el mercado, las estrategias modeladas, en orden de importancia, son: i) invertir en I&D para difundir y substituir generaciones

sucesivas de productos; ii) aumentar el mercado potencial mediante externalidades de red; y iii) controlar los retardos en el lanzamiento de sus productos frente a los de la Pionera.

Los modelos de inversión en I + D, (ID_{ij}) , y tiempo de entrada de cada una de las sucesivas generaciones del producto, τ_{ij} , son obtenidos a partir de los informes financieros de cada una de las firmas con las cuales se validó el modelo. El modelo de precio es función de la variación de la base de usuarios en el tiempo.

5.1 Experimento previo: modelo monogeneracional de crecimiento de una firma de software.

En el modelo clásico de Bass (1969), se asume que existe una población finita de compradores potenciales que adopta un producto de una firma de software en el tiempo. La $dxdt = \alpha(N - x) + \beta \frac{x}{N}(N - x)$ Ecuación 10 muestra el modelo de Bass en forma diferencial; se aprecia cómo la tasa de adopción es la superposición de las tasas de adopción de innovadores e imitadores.

$$\frac{dx}{dt} = \alpha(N - x) + \beta \frac{x}{N}(N - x)$$

La Figura 5-3 muestra cómo en cada tiempo t , los adoptadores de tipo innovador, (α) , se incorporan al mercado por influencias externas como la publicidad y los de tipo imitador, (β) , por influencias internas.

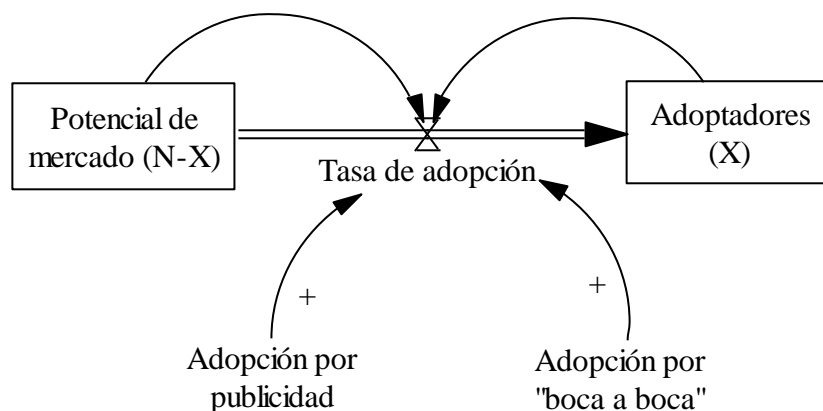


Figura 5-3.Modelo de difusión de Bass (1969).Fuente: (Stermán J. , 2000)

Según Chanda & Bardhan (2008), la solución a la ecuación 10, tiene la forma:

$$x = N \left[\frac{1 - e^{-(\alpha + \beta)t}}{1 + \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{-(\alpha + \beta)t}} \right] \quad \text{Ecuación 326}$$

$$\text{sea } F = \frac{\left[\frac{1 - e^{-(\alpha + \beta)t}}{1 + \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{-(\alpha + \beta)t}} \right]}{N} \quad \text{Ecuación 3733}$$

Donde:

$F(t) = \frac{x(t)}{N}$: es la tasa de adopción acumulada de un nuevo producto en un tiempo t .

$x(t)$: es el número acumulado de adoptadores en un tiempo t .

N : es el tamaño del mercado potencial (constante).

En Figura 5-4a se muestra un comportamiento de tipo logístico del modelo de Bass (1969), con mercado potencial y coeficientes de innovación e imitación constantes. No

obstante, el comportamiento de los históricos de ventas muestra cómo resulta más útil utilizar la derivada del modelo de Bass para explicar el comportamiento de la adopción, Figura 5-4b; en este caso, para una generación de producto.

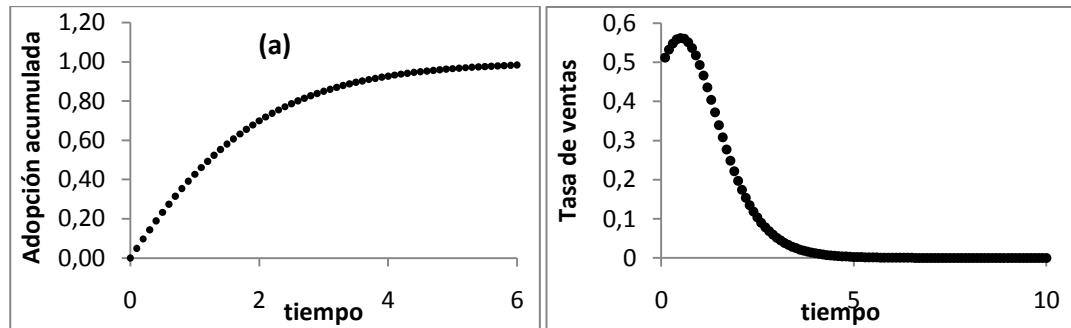
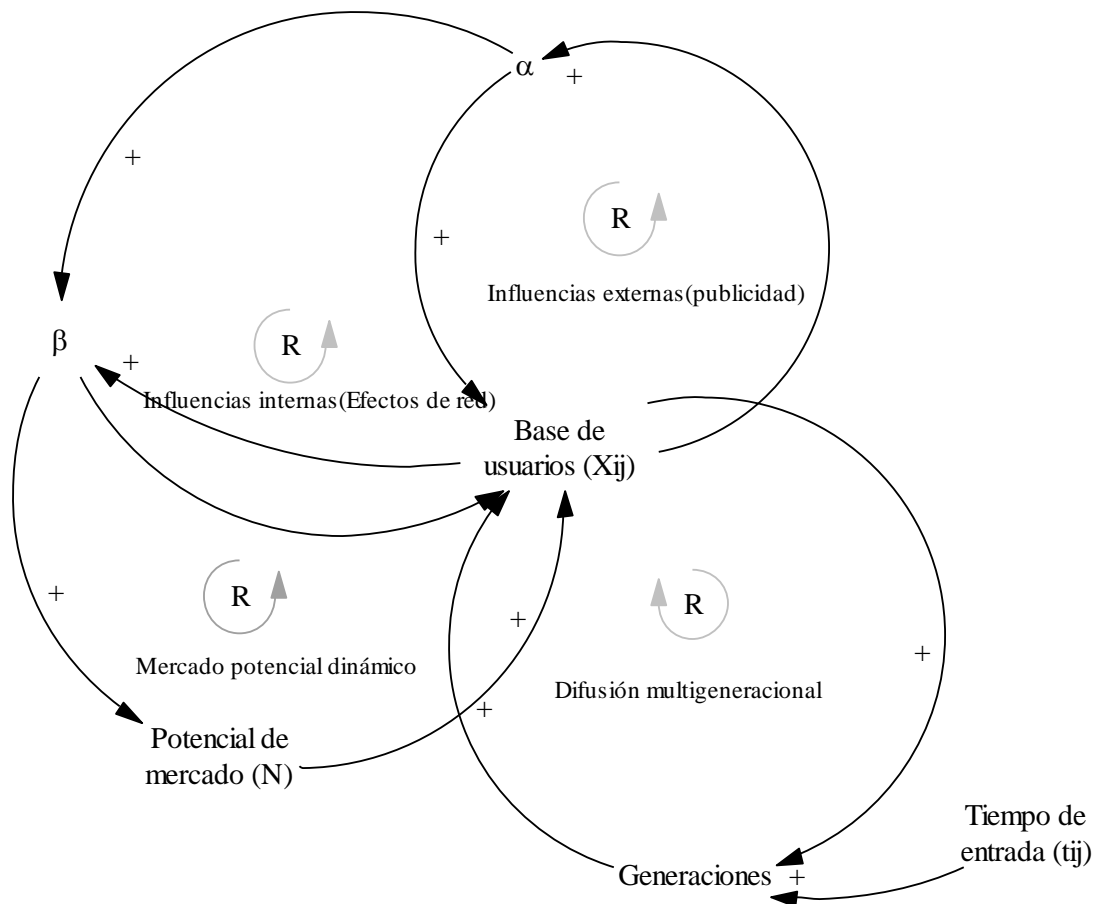


Figura 5-4. Comportamiento de la adopción de acuerdo con Bass (1969), a) adopción acumulada, b) tasa de adopción.

Como se observa, el modelo de Bass es útil para explicar el crecimiento de una firma con una generación de producto y sin competidores. Este supuesto es poco realista para los mercados de software, cuya dinámica de sustitución tecnológica acorta el ciclo de vida de los productos, aumenta la competencia y disminuye la sobrevivencia de las firmas (Kemper, 2010).

5.2 Modelo propuesto: de un modelo de Bass a la complejidad del fenómeno del crecimiento de firmas de software.

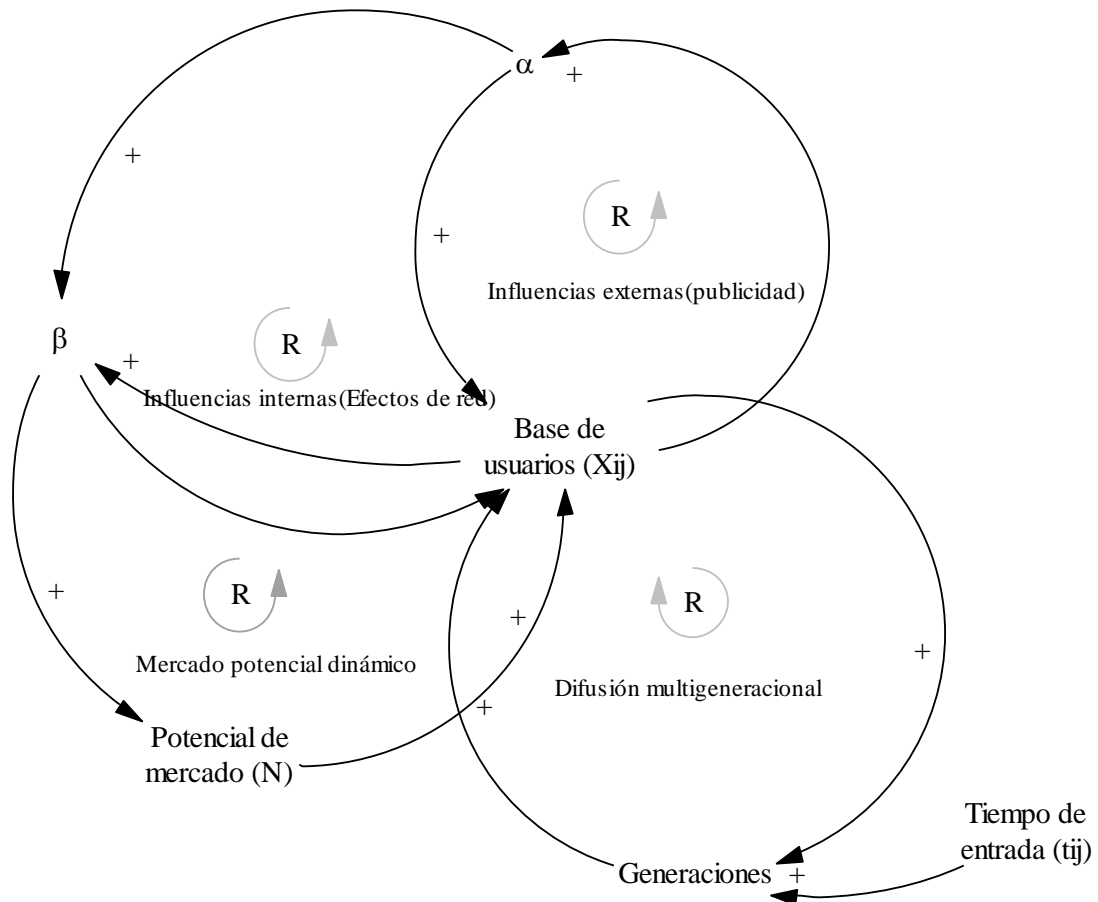
En el diagrama presentado en la



se observa el crecimiento de la base instalada para las i firmas, en función de la de la tasa de adopción de j generaciones de producto.

Supóngase dos firmas de software que venden hasta tres generaciones de productos que pueden o no ser compatibles entre ellas. Los adoptadores pueden comprar una o más generaciones de productos, pero nunca compran de nuevo la

misma generación. Tanto la firma Pionera como la ET, compiten por un mercado potencial dinámico $N(t)$, donde $t \in [0, T]$, siendo T el tiempo de simulación. Todas las generaciones de producto tienen un ciclo de vida dentro de este intervalo. En la



se presenta un diagrama causal con la dinámica de la difusión multigeneracional. El diagrama causal conecta cuatro ciclos centrales para el crecimiento de firmas de software: mercado potencial dinámico, influencias internas (efectos de red), influencias externas (publicidad) y difusión multigeneracional. Las tres primeras dan cuenta de la difusión de una generación de producto con mercado

potencial dinámico en función de los efectos de red; la cuarta introduce múltiples generaciones de productos. Todos estos ciclos muestran una dinámica de refuerzo positivo a la *Base usuarios, (x_{ij})*.

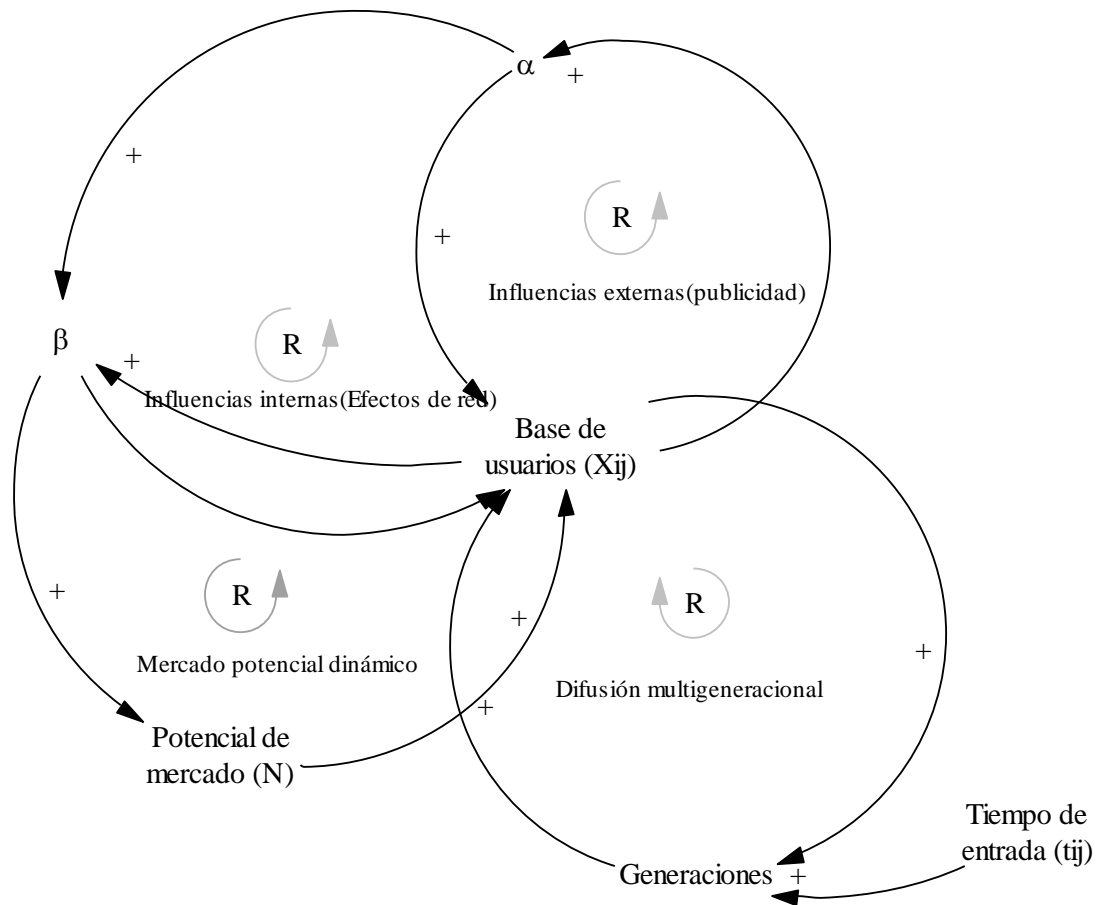


Figura 5-5.Diagrama causal con difusión multigeneracional

Conforme crece la *Base de usuarios*, aumenta la probabilidad de que otros adoptadores compren los productos bien sea por influencias externas (α) o internas (β); a su vez, los adoptadores de tipo innovador son los primeros en influenciar a los imitadores. Las influencias internas (β)

motivan a otros adoptadores para que engrosen el *Potencial de mercado* y estén dispuestos a adquirir nuevos productos, ya sea por externalidades directas o indirectas. Por otra parte, al aumentar la *Base usuarios, (x_{ij})* y, por lo tanto, las ventas, crece la necesidad por nuevas *Generaciones* de producto. Las ecuaciones 38 a 46 representan el modelo propuesto para las tres generaciones de productos de *i* firmas.

Primera generación

Cuando se lanza la primera generación de producto la tasa de ventas tiene la forma.

$$\frac{dx_{il}}{dt} = \bar{N}_{il} \frac{(\alpha_{il} + \beta_{il})^2}{\alpha_{il}} \frac{e^{-\alpha_{il} + \beta_{il}t}}{\left[1 + \left(\frac{\beta_{il}}{\alpha_{il}}\right)e^{-(\alpha_{il} + \beta_{il})t}\right]^2} \quad \text{Ecuación 38}$$

Con:

$\frac{dx_{il}}{dt}$: tasa de adopción por unidad de tiempo del producto de la firma *i*.

\bar{N}_{il} : tamaño del mercado potencial de la firma *i*.

α_{il}, β_{il} : coeficientes de innovación e imitación, respectivamente, de la firma *i* para el producto 1.

Segunda generación

Cuando la segunda generación es lanzada, existe la posibilidad de que aun la primera se esté difundiendo entre

adoptadores rezagados; de este modo, si x_{i1} y x_{i2} representan las ventas de la primera y segunda generación de producto para la firma i esima, entonces las Ecuaciones 43 y 44 muestran las tasa de ventas correspondientes.

$$\frac{dx_{i1}}{dt} = \bar{N}_{i1} \frac{(\alpha_{i1} + \beta_{i1})^2}{\alpha_{i1}} \frac{e^{-(\alpha_{i1} + \beta_{i1})t}}{\left[1 + \left(\frac{\beta_{i1}}{\alpha_{i1}}\right)e^{-(\alpha_{i1} + \beta_{i1})t}\right]^2} [1 - S_{i2}] - \bar{N}_{i1} \frac{(1 - e^{-(\alpha_{i1} + \beta_{i1})t})}{\left[1 + \left(\frac{\beta_{i1}}{\alpha_{i1}}\right)e^{-(\alpha_{i1} + \beta_{i1})t}\right]} \frac{dS_{i2}}{dt}$$

Ecuación 39

$$\frac{dx_{i2}}{dt} = \bar{N}_{i2} \frac{(\alpha_{i2} + \beta_{i2})^2}{\alpha_{i2}} \frac{e^{-(\alpha_{i2} + \beta_{i2})t}}{\left[1 + \left(\frac{\beta_{i2}}{\alpha_{i2}}\right)e^{-(\alpha_{i2} + \beta_{i2})t}\right]^2} + \frac{dA_{i2}}{dt} + \frac{dR_{i2}}{dt} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde, $S_{i2}(t)$ representa la fracción de adoptadores que compraron la primera generación de producto y que luego compran la segunda generación en la firma i esima una vez sea lanzada. Generalizando, $S_{ij}(t)$ expresa la fracción de los adoptadores potenciales que compraron la generación $j-1$ de la firma i esima y que luego compran la generación j esima, cuando es lanzada en un tiempo τ_j ; esta fracción se expresa como una probabilidad de tipo bayesiano.

$$S_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{F_{ij}(t)}{\sum_{m=1}^j F_{im}(t)} & \text{si } t \geq \tau_j \\ 0 & \text{si } t < \tau_j \end{cases} \quad \text{Ecuación 41}$$

Siendo $F_{ij}(t) = \frac{(\alpha_{ij} + \beta_{ij})^2 e^{-(\alpha_{ij} + \beta_{ij})t}}{\alpha_{ij} \left[1 + \left(\frac{\beta_{ij}}{\alpha_{ij}}\right)e^{-(\alpha_{ij} + \beta_{ij})t}\right]}$ la fracción de adopción

acumulativa de la generación de producto j por parte de la firma i en un tiempo t .

Por su parte, $A_{i2}(t)$ son los adoptadores potenciales de la primera generación de la firma *i esima*, que no compraron y esperan a comprar la segunda. R_{i2} son los adoptadores potenciales que llegan después de que la segunda generación ha sido lanzada, es decir, los nuevos adoptadores potenciales que engrosan la demanda.

Según Chanda & Bardhan (2008) de forma general estas dos variables se pueden expresar como sigue:

$$A_{ij}(t) = \sum_{k=1}^j \bar{N}_{ik-1} F_{ik-1}(t) S_{ik}(t) \text{ para } t \geq \tau_j \quad \text{Ecuación 342}$$

$$R_{ij}(t) = \sum_{k=2}^{j-1} \bar{N}_{ik-1} \int_0^{\tau_k} F_{ij}(t) dt \text{ para } t \geq \tau_j \quad \text{Ecuación 43}$$

Tercera generación

Cuando la tercera generación de productos es lanzada, existe la posibilidad de que aún se estén distribuyendo la segunda o incluso la primera. En este caso las tasas de adopción para las tres generaciones que pueden estar difundiéndose son:

$$\frac{dx_{i1}}{dt} = \bar{N}_{i1} \left\{ \frac{(\alpha_{i1} + \beta_{i1})^2}{\alpha_{i1}} \frac{e^{-(\alpha_{i1} + \beta_{i1})t}}{\left[1 + \left(\frac{\beta_{i1k}}{\alpha_{i1k}}\right) e^{-(\alpha_{i1} + \beta_{i1})t}\right]^2} [1 - \gamma_{i2} - \gamma_{i3}] - \bar{N}_{i1} \frac{(1 - e^{-(\alpha_{i1} + \beta_{i1})t})}{\left[1 + \left(\frac{\alpha_{i1}}{\beta_{i1}}\right) e^{-(\alpha_{i1} + \beta_{i1})t}\right]} \left[\frac{d\gamma_{i2}}{dt} + \frac{d\gamma_{i3}}{dt} \right] \right\}$$

Ecuación 354

$$\frac{dx_{i3}}{dt} = \bar{N}_{i3} \frac{(\alpha_{i3} + \beta_{i3})^2}{\alpha_{i3}} \frac{e^{-(\alpha_{i3} + \beta_{i3})t}}{\left[1 + \left(\frac{q_{i3}}{p_{i3}}\right)e^{-(\alpha_{i3} + \beta_{i3})t}\right]^2} + \frac{dA_{i3}}{dt} + \frac{dR_{i3}}{dt} + \frac{dB_{i3}}{dt}$$

Ecuación 45

$$\frac{dx_{i2}}{dt} = \bar{N}_{i2} \left\{ \frac{(\alpha_{i2} + \beta_{i2})^2}{\alpha_{i2}} \frac{e^{-(\alpha_{i2} + \beta_{i2})t}}{\left[1 + \left(\frac{\beta_{i2}}{\alpha_{i2}}\right)e^{-(\alpha_{i2} + \beta_{i2})t}\right]^2} [1 - \gamma_{i3}] - \frac{(1 - e^{-(\alpha_{i2} + \beta_{i2})t})}{\left[1 + \left(\frac{\beta_{i2}}{\alpha_{i2}}\right)e^{-(\alpha_{i2} + \beta_{i2})t}\right]} \frac{d\gamma_{i2}}{dt} \right\} + \frac{dA_{i2}}{dt} + \frac{dR_{i2}}{dt} (1 - \delta_{i3}) - R_{i2} \delta_{i3}$$

Ecuación 46

Siendo $T_{i3}(t)$ la proporción de adoptadores de la segunda generación que compra la tercera.

$B_{3i} = \bar{N}_{i1}(t_2)F_{2i}(t)\gamma_{i3}(t)$. Es la proporción de adoptadores de la primera generación, que compran la segunda y tercera.

5.3 Mercado potencial y coeficientes de innovación e imitación dinámicos.

Los adoptadores que están en capacidad adquirir un producto - *Potencial de mercado* - pueden ser, o bien primeros compradores, o bien adoptadores que ya han adquirido una generación anterior y desean la nueva generación. En cualquiera de los dos casos, los efectos de red son el principal incentivo para atraer nuevos adoptadores debido al beneficio que se obtiene de una red ya instalada de usuarios.

Ni en el modelo de Bass(1969) ni en el de Chanda & Bardhan (2008), se asumen una renovación del mercado potencial de la primera generación del producto $R_{i1}(t)$, lo que significa

que la primera generación del producto j de la firma i tiene una cantidad finita y no renovable del mercado potencial.

Por otra parte, suponer que los coeficientes de innovación e imitación son constantes, conduce a dos situaciones inverosímiles. Primero, que la proporción entre innovadores e imitadores con respecto a la base instalada se mantiene constante durante todo el tiempo. Segundo, que los coeficientes α y β son invariantes, lo que implica que los efectos de red no afectan la tasa de adopción. Por esta razón, se hace necesario proponer expresiones para α y β en función de la proporción real de los adoptadores innovadores e imitadores con respecto a la base instalada, haciendo dinámicos los coeficientes de innovación e imitación, así:

$$\alpha_{ij}(t) = 1 - \frac{x_{in(ij)}(t)}{\sum_{(i,j)=(1,1)}^{(2,3)} x_{ij}(t)} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$\beta_{ij}(t) = \alpha_{ij}(t) \left(1 - \frac{x_{im(ij)}(t)}{\sum_{(i,j)=(1,1)}^{(2,3)} x_{ij}(t)} \right) \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde los términos $x_{in(ij)}(t)$ y $x_{im(ij)}(t)$ representan la adopción acumulada de innovadores e imitadores, respectivamente.

La expresión propuesta para la tasa de crecimiento del mercado potencial para las i firmas y j generaciones de producto, en función de las externalidades de red, β , es la siguiente:

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = \sum_{(i,j)=(1,1)}^{(2,3)} \left(\beta_{ij} \frac{x_{ij}(t)}{F_{ij}(t)} \right) \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde $x_{ij}(t)$ representa el la adopción acumulada y $F(t) = \frac{N(t)}{N}$ es la tasa de adopción acumulada de un nuevo producto en un tiempo t .

5.4 Estrategias: precios e inversión en I&D

Una visión sinérgica de la estrategia de precios en función de la estructura de los costos, sugiere la siguiente paradoja: el comportamiento del precio de un producto en función del costo marginal, conduce a un beneficio por licencia o por descarga, tendiente a cero. En principio, esta singularidad no parece favorable para una firma productora de software; sin embargo, ejemplos como la difusión del juegos para móviles con precios inferiores a USD\$1, han impulsado el crecimiento de firmas como Rovio Mobile Ltd., cuyas ventas superan los USD 5 millones y cuantiosas usuarios de iPhone /iPad / iPod Touch y Android (Apple, 2011; Gobry, 2011).

El modelo de precio es función del tiempo y de la base instalada, a diferencia de Liu et al. (2011), quienes modelan el precio como una expresión decreciente en función únicamente de las influencias internas. Con base en evidencia empírica disponible del mercado de procesadores de texto (Von Westarp, 2003) se propone el siguiente modelo de precios:

$$P_{ij}(t_{ij}, x_{ij}) = P_{o(ij)} e^{-A(t_{ij}-t_{oij})^2} e^{-B(x_{ij}-x_{oij})^2} \quad \text{Ecuación 50}$$

Para el modelo de precio se consideran los siguientes parámetros de entrada: precio máximo de cada generación de producto P_{0ij} , rapidez de crecimiento del precio con respecto al tiempo y la base instalada, A_{0ij} y B_{0ij} , respectivamente; y los tiempos, t_{0ij} , y base instalada, X_{0ij} , en los cuales se alcanza el precio máximo para la generación de la j -ésima del producto.

5.5 Conclusiones

El modelo partió la identificación de la estructura en el nivel agregado, considerando procesos de competencia en empresas de software estandarizado con un mercado potencial dinámico, bajo un modelo de difusión multigeneracional. Los coeficientes dinámicos de innovación e imitación del modelo de difusión propuesto, se fundamentan en las externalidades de red generadas por las firmas en competencia.

Adicionalmente, el modelo propuesto incorpora: la variable en la inversión de I&D de las firmas en competencia; la difusión de varias generaciones de productos en ciclos de vida cortos; la variación de precios en función del tiempo y la base de usuarios. El modelo está diseñado para tres generaciones de producto por firma.

El modelo propuesto no se basó en los canales tradicionales de comunicación como el boca a boca, porque asume que las externalidades de red en los modelos de difusión dependen de los múltiples efectos de la base de usuarios existente, sobre la tasa de crecimiento de las ventas de las firmas.

Los referentes teóricos de la difusión de innovación multigeneracional, bajo efectos de red, sustentan adecuadamente la formulación del modelo propuesto, logrando integrar las externalidades de red en los modelos de difusión y la incorporación de varias generaciones de productos. Adicionalmente, el modelo considera las interacciones de competencia entre firmas.

6 VALIDACIÓN

El modelo propuesto comprende la difusión de múltiples versiones en competencia, con un mercado potencial y coeficientes de innovación e imitación dinámicos; además, incorpora una variable que permite introducir la estrategia de I&D ponderada entre cada firma y cada generación de productos, junto con una estructura de precios en función del tiempo y de la base instalada. Para la validación del modelo se realizaron pruebas directas de estructura, de estructura orientada al comportamiento y de condiciones extremas (Barlas, 1996).

6.1 Prueba directa de estructura

Esta prueba evalúa la validez del modelo con respecto al conocimiento actual del sistema real, verificando la coherencia de las relaciones. Esto requiere la evaluación de cada ecuación matemática o cualquier otra forma de relación lógica de forma individual y, luego, una comparación de esta relación con el conocimiento disponible, sin hacer simulaciones. También puede llevarse a cabo como una prueba de la estructura teórica, mediante la comparación de las ecuaciones del modelo con la literatura.

Modelo de difusión de múltiples generaciones de productos de software estandarizado

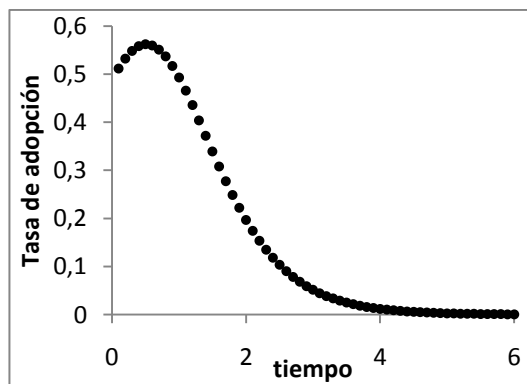
Cuando se trata de explicar el fenómeno de crecimiento de firmas de software, la introducción y sustitución de generaciones de productos al mercado sigue el patrón de los

modelos de Chanda & Bardan (2008) y Bass (1969), cuya estructura básica tiene la forma de la Ecuación 3836.

$$\frac{dx_{il}}{dt} = \bar{N}_{il} \frac{(\alpha_{il} + \beta_{il})^2}{\alpha_{il}} \frac{e^{-(\alpha_{il} + \beta_{il})t}}{\left[1 + \left(\frac{\beta_{il}}{\alpha_{il}}\right)e^{-(\alpha_{il} + \beta_{il})t}\right]^2}$$

El mercado potencial inicial, \bar{N}_{ij} , afecta en forma significativa la tasa de ventas de la generación del producto j de una firma i . Al ser directamente proporcional, cuanto mayor sea el mercado en el cual se inicia la difusión del producto, mayor es su tasa de ventas. Por otra parte, la combinación de los coeficientes de innovación e imitación producen en la tasa de ventas, bajo la estructura del modelo (Figura 6-1), un comportamiento de tipo gaussiano, representando un comportamiento creciente en las ventas conforme el producto se comienza a difundir, para luego disminuir a medida que se agota el mercado potencial para la generación de producto, de acuerdo con Bass (1969).

Figura 6-1. Comportamiento de típico de la función para la tasa de ventas. Fuente: Autora.



Esta función mantiene este comportamiento aun cuando los coeficientes de innovación e imitación cambien dinámicamente. La tasa de regeneración del mercado potencial fue modelada por medio de la ecuación 49. Esta expresión regula la forma en que potenciales adoptadores de un producto j , entran al mercado.

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = \sum_{(i,j)=(1,1)}^{(2,3)} \left(\beta_{ij} \frac{x_{ij}(t)}{F_{ij}(t)} \right)$$

A medida que el producto se difunde en el mercado, las externalidades aumentan no sólo por la base instalada, $x_{ij}(t)$, sino por los efectos de red β_{ij} (Liu, Cheng, Tang, & Eryarsoy, 2011). Al principio sólo se cuenta con una pequeña base instalada de usuarios, pero conforme el coeficiente de imitación crece, aumenta el incentivo para que nuevos potenciales adoptadores entren al mercado.

Por otra parte, la tasa de ventas es también sensible a los coeficientes de innovación α_{ij} e imitación β_{ij} . Conforme aumentan los coeficientes, de igual forma lo hace la tasa de ventas; sin embargo, estos coeficientes deberían cambiar su valor de acuerdo con las fluctuaciones de la base usuarios. En la ecuación 12 se propuso el coeficiente de innovación como función de la proporción de los adoptadores de una firma, con respecto a todos los adoptadores del mercado en ese momento. La ecuación 53 muestra cómo, si la proporción de ventas de un producto j disminuye con respecto a la competencia o incluso con respecto a otros productos de la

misma firma, la preferencia de los adoptadores de tipo innovador disminuye, lo cual es coherente en mercados de alta tecnología (Ecuación 47).

$$\alpha_{ij}(t) = 1 - \frac{x_{in(ij)}(t)}{\sum_{(i,j)=(1,1)}^{(2,3)} x_{ij}(t)}$$

Los adoptadores de tipo imitador aumentan conforme los innovadores difunden el producto, pero también a medida que otros imitadores lo hacen; la ecuación 48 muestra cómo el coeficiente de imitación aumenta a medida que el coeficiente de innovación lo hace, pero también conforme crecen los adoptadores de tipo imitador ($x_{im(ij)}(t)$).

$$\beta(t) = \alpha_{ij}(t) \left(1 - \frac{x_{im(ij)}(t)}{\sum_{(i,j)=(1,1)}^{(2,3)} x_{ij}(t)} \right)$$

Como los imitadores disminuyen a medida que el producto se difunde en el mercado, el coeficiente de imitación debería hacerlo también.

Para el modelamiento de precios se propuso el modelo de la ecuación 54 en función de la base instalada de clientes y el tiempo. El modo de referencia del comportamiento de los precios en mercados de software se caracteriza por una estructura de precios bajos cuando el producto comienza a introducirse en el mercado. A medida que el producto se hace conocido y su demanda aumenta, su precio también lo hace; sin embargo, cuando la mayor parte de los adoptadores tienen el producto, su precio baja para hacerse atractivo a los

adoptadores de tipo imitador. La ecuación 50 muestra el máximo valor de precio cuando la base instalada toma el valor x_{oij} y el tiempo t_{oij} .

$$P_{ij}(t_{ij}, x_{ij}) = P_{o(ij)} e^{-A(t_{ij}-t_{oij})^2} e^{-B(x_{ij}-x_{oij})^2}$$

De esta forma la tendencia de los precios tiene una forma gaussiana modificada donde la modelación debe suponer el tiempo y el tamaño de la base instalada donde el precio sea máximo.

6.2 Prueba de estructura orientada al comportamiento

Las pruebas de estructura orientada al comportamiento, evalúan la validez de la estructura de forma indirecta, mediante la aplicación de pruebas de comportamiento en los patrones generados por el modelo (Barlas, 1996). Para estas pruebas se realiza la simulación del modelo; se aplican tanto al modelo completo como a los sub-modelos. Estas son pruebas "fuertes" de comportamiento que pueden ayudar a descubrir al modelador potenciales fallas estructurales. El pronóstico del comportamiento puede realizarse si se dispone de datos sobre el comportamiento del sistema real. El modelo pasa la prueba si se puede generar un comportamiento similar.

En la validación por la prueba de estructura orientada al comportamiento del modelo propuesto, se consideraron tres casos de firmas de software estandarizado: ANSYS Inc., CIMATRON GROUP y SYMANTEC Corp. Las ventas anuales sobre un

periodo de simulación, es la variable de salida que representa el crecimiento de la firma de software y los datos de entrada son: estrategia de inversión en I&D como un porcentaje de las ventas anuales, el tiempo de entrada de las generaciones de productos, la estrategia de precio y el mercado potencial inicial; los datos de entrada fueron obtenidos de los reportes financieros anuales las firmas. Esta información se introdujo en el modelo propuesto y se simuló sobre el Software Ithink 7a, para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales existentes en el modelo propuesto, bajo el método numérico de Euler.

6.2.1 Validación con caso ANSYS Inc.

La primera firma con la cual se validó el modelo corresponde a ANSYS, dedicada a la producción de software para simulación de sistemas Multiphysics, problemas térmicos y de mecánica computacional de fluidos (CFD). La información para los datos de entrada de la firma se presenta en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Información financiera de ANSYS Inc. Fuente: (ANSYS_INC., 2011)

Año	Ventas (USD Millón)	Inversión en I&D (USD Millón)	% I&D	Generación
1998	56,6	11,6	0,21	
1999	63,1	13,5	0,21	
2000	74,5	14,5	0,19	
2001	84,8	16,9	0,20	6.0
2002	91,0	19,6	0,22	6.1

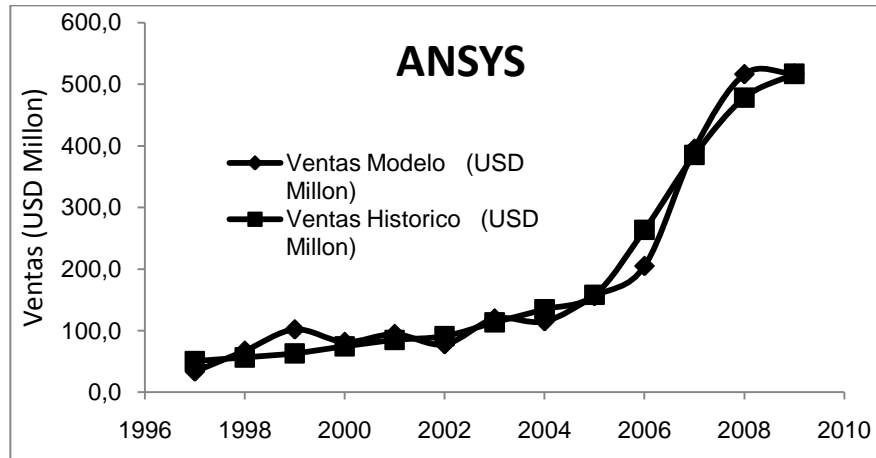
2003	113,5	23,8	0,21	
2004	134,5	26,3	0,20	8.1 y 9.0
2005	158,0	30,7	0,19	
2006	263,6	49,4	0,19	10.0
2007	385,3	56,5	0,15	
2008	478,3	71,6	0,15	11.0
2009	516,9	79,9	0,15	12.0

Dado que el modelo está diseñado para tres generaciones de producto por firma, se introdujeron al modelo las versiones 6.1 (año 2002) y las versiones 8.1 y 9.0 (año 2004). Los resultados de la simulación se presentan en la tabla Tabla 6-2 y la Figura 6-2.

Tabla 6-2.Resultados de la simulación del modelo caso ANSYS INC.

ANALISIS		
Año	Ventas Modelo (USD Millón)	Ventas Histórico (USD Millón)
1997	33,7	50,5
1998	67,4	56,6
1999	102,1	63,1
2000	81,7	74,5
2001	94,5	84,8
2002	78,0	91,0
2003	119,7	113,5
2004	115,2	134,5
2005	156,0	158,0
2006	204,9	263,6
2007	395,1	385,3
2008	516,1	478,3
2009	516,9	516,9

Figura 6-2. Comparación de ventas históricas y de simulación para ANSYS Inc.



La simulación muestra una tendencia creciente con un aumento significativo a partir de 2005. Debe recordarse que lo que está mostrando la simulación es la superposición de las ventas anuales de las tres generaciones de producto y el histórico muestra las ventas totales por año, y se supone que están todas las generaciones a lo largo de quince años de simulación. Se escogieron las generaciones 6.1 y 8.1 y 9.0.

6.2.2 Validación con caso CIMATRON Group.

La segunda firma es CIMATRON Group, compañía fabricante de software para Multiphysics, problemas térmicos y especializados en sistemas CAD-CAM. La información de entrada se presenta en la Tabla 6-3. Se introdujo la información correspondiente a la generación que venía siendo comercializada en 1997, la generación Cimatron IT V13 en 2002 y Cimatron E 8 del año 2007.

Tabla 6-3.Datos financieros de la firma CIMATRON. Fuente:
CIMATRON GROUP (2011)

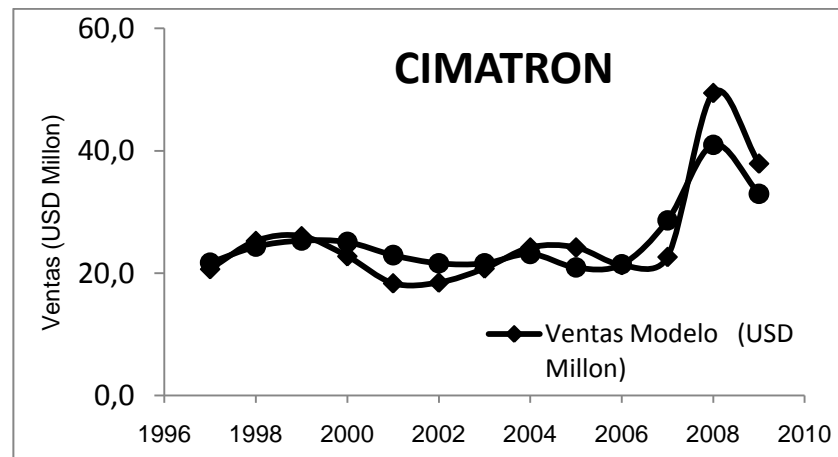
Año	Ventas (USD Millón)	Inversión en I+D (USD Millón)	% I+D	Generación
1997	21,7	4,5	0,21	
1998	24,3	4,2	0,17	
1999	25,3	4,2	0,16	
2000	25,1	8,3	0,33	
2001	23,0	7,6	0,33	
2002	21,6	5,6	0,26	Cimatron it v13
2003	21,6	5,2	0,24	
2004	23,2	5,6	0,24	Cimatron E6
2005	20,9	4,8	0,23	Cimatron E7
2006	21,5	4,4	0,21	
2007	28,6	4,3	0,15	Cimatron E8
2008	41,0	6,9	0,17	Cimatron E8.5
2009	33,0	5,7	0,17	Cimatron E9

En la Tabla 6-4 y Figura 6-3 se presentan los resultados de la simulación, en los cuales puede apreciarse cómo el modelo se ajusta bastante bien a los resultados de la evidencia empírica.

Tabla 6-4. Resultados de la simulación del modelo caso CIMATRON

CIMATRON		
Año	Ventas Modelo (USD Millón)	Ventas Histórico (USD Millón)
1997	20,7	21,7
1998	25,3	24,3
1999	26,0	25,3
2000	22,8	25,1
2001	18,4	23,0
2002	18,5	21,6
2003	20,8	21,6
2004	24,2	23,2
2005	24,2	20,9
2006	21,3	21,5
2007	22,7	28,6
2008	49,4	41,0
2009	37,9	33,0

Figura 6-3. Comparación de ventas históricas y de simulación para CIMATRON.



En este caso, las ventas llevan un valor relativamente constante hasta el año 2007, donde se presenta un cambio súbito en las ventas pero que luego decrece.

6.2.3 Validación con caso SYMANTEC Corp.

La siguiente firma para validar el modelo propuesto es Symantec Corporation, dedicada a la fabricación de productos para seguridad informática. En la .

Tabla 6-5 se muestran los valores asignados a los parámetros de entrada.

Tabla 6-5 Datos financieros de la firma Symantec. Fuente: Symantec Corp. (2011)

Año	Ventas (USD Millón)	Inversión en I&D (USD Millón)	% I&D	Generación
1994	403,206	68,11	17	X
1995	431,268	70,706	16	
1996	445,432	94,672	21	
1997	472,183	88,924	19	
1998	578,361	91,332	16	
1999	592,628	101,563	17	X
2000	745,725	108,425	15	
2001	853,554	126,673	15	X
2002	1071,438	163,979	15	
2003	1406,946	197,271	14	
2004	1870,129	252,284	13	
2005	2582,849	334,046	13	
2006	4143,392	682,125	16	
2007	5199,366	866,882	17	
2008	5874	895	15	
2009	61500	870	1	

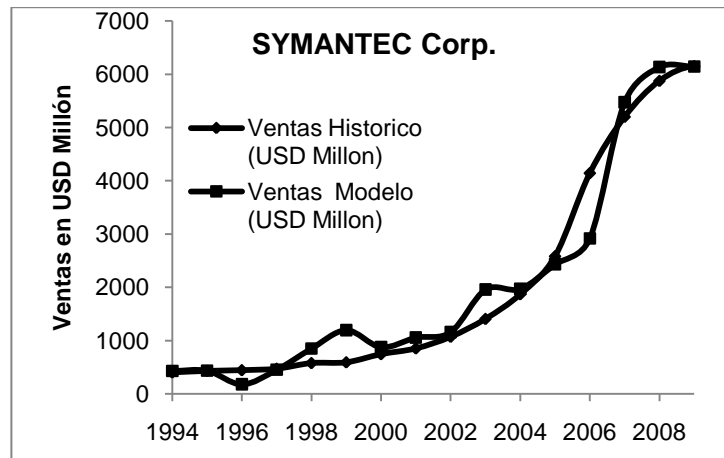
Los parámetros introducidos al modelo comprendieron los años 1994 a 2009 y corresponden a las versiones de 1994,

1999 y 2001. Los resultados de la simulación se presentan en la Tabla 6-6 y Figura 6-4.

Tabla 6-6. Resultados de la simulación del modelo caso SYMANTEC.

Symantec		
Año	Ventas Histórico (USD Millón)	Ventas Modelo (USD Millón)
1994	403	431
1995	431	436
1996	445	180
1997	472	452
1998	578	851
1999	593	1197
2000	746	877
2001	854	1057
2002	1071	1160
2003	1407	1959
2004	1870	1971
2005	2583	2433
2006	4143	2918
2007	5199	5475
2008	5874	6134
2009	6150	6143

Figura 6-4. Comparación de ventas históricas y de simulación para SYMANTEC.



Los resultados muestran cómo la simulación se ajusta bastante bien a los datos históricos.

6.2.4 Validación de la estrategia de precios.

El modelo propuesto de precios fue validado numéricamente con los casos de WordPerfect para el sistema operativo DOS y Microsoft Word para DOS, siguiendo el modo de referencia. Los valores asignados a los parámetros del modelo fueron ajustados a los históricos.

Caso WordPerfect para DOS

En la Tabla 6-7 se presentan los parámetros introducidos al modelo de acuerdo con la ecuación 15.

Tabla 6-7. Parámetros para validación de los precios de WordPerfect para DOS.

Parámetro	Valor
$P_{o(11)}$ (USD)	10
$P_{o(12)}$ (USD)	5
$P_{o(12)}$ (USD)	2
A_{11} (1/mes)	0.06

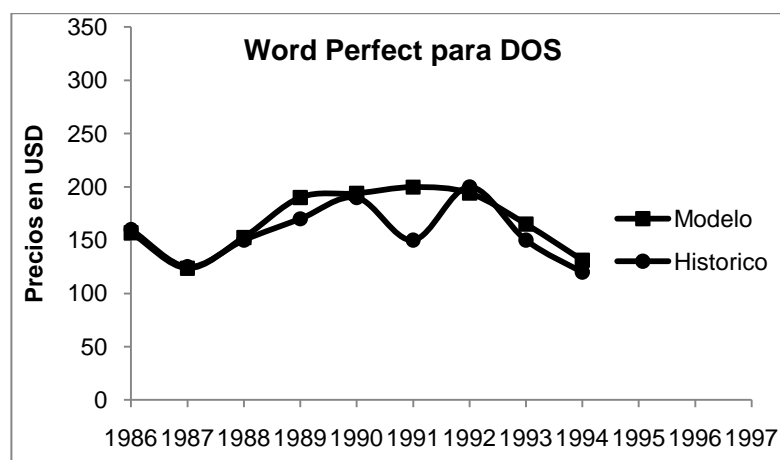
A_{12} (1/mes)	0.3
A_{13} (1/ms)	0.3
B_{11} (adimensional)	0.5
B_{12} (adimensional)	0.5
B_{13} (adimensional)	0.5
t_{o11} (mes)	1
t_{o12} (mes)	4
t_{o13} (mes)	6
x_{o11} (adimensional)	1
x_{o12} (adimensional)	1.02
x_{o13} (adimensional)	1.05

En la Tabla 6-8 y la Figura 6-5 se presentan los datos históricos de los precios durante el período comprendido entre 1986 y 1994 de acuerdo con (Von Westarp, 2003) y los resultados de la simulación correspondiente.

Tabla 6-8. Precios de WordPerfect para DOS

Año	Precios Word Perfect para DOS (USD)		Error relativo
	Modelo	Histórico	
1986	157	160	2%
1987	123,6	125	1%
1988	152,49	150	2%
1989	189,96	170	12%
1990	193,85	190	2%
1991	199,75	150	33%
1992	194,09	200	3%
1993	165	150	10%
1994	131,05	120	9%

Figura 6-5. Simulación de los precios de WordPerfect para DOS y los datos históricos.



Como se aprecia, el modelo de precios se ajusta relativamente bien a los datos históricos con algunas fluctuaciones debido a los cambios entre generaciones de producto.

Caso Microsoft Word para DOS

Los parámetros para el modelo de precios en el caso Microsoft Word para DOS se presentan en la tabla en la Tabla 6-9.

Tabla 6-9. Parámetros para validación de los precios de Microsoft Word para DOS

Parámetro	valor
$P_{o(21)}$ (USD)	190
$P_{o(22)}$ (USD)	200
$P_{o(22)}$ (USD)	290
A_{21} (1/mes)	0.09
A_{22} (1/mes)	0.025
A_{23} (1/mes)	0.025

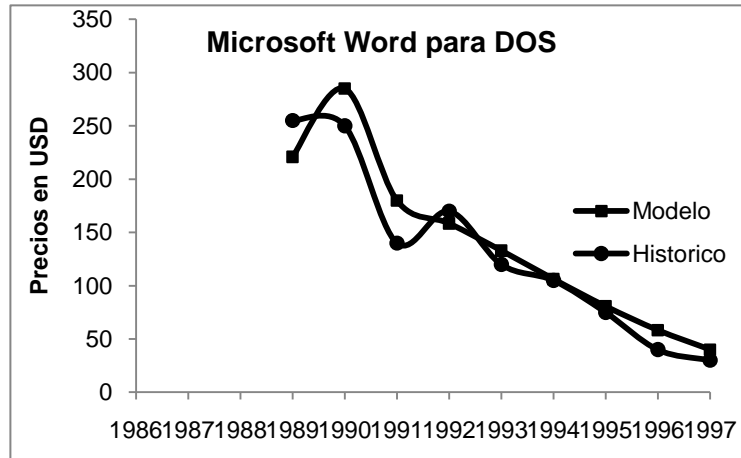
B_{21} (adimensional)	0.5
B_{22} (adimensional)	0.5
B_{23} (adimensional)	0.5
$t_{o\ 21}$ (mes)	3
$t_{o\ 22}$ (mes)	4
$t_{o\ 23}$ (mes)	5
$x_{o\ 21}$ (adimensional)	1.21
$x_{o\ 22}$ (adimensional)	1.21
$x_{o\ 23}$ (adimensional)	1.21

En la Tabla 6-10 y la Figura 6-6 se muestran la comparación entre el modelo de precios simulado y los históricos del modo de referencia.

Tabla 6-10. Precios de Microsoft Word para DOS

Año	Precio MS Word para DOS (USD)		Error relativo
	Modelo	Histórico	
1989	220,93	255	13%
1990	284,96	250	14%
1991	179,86	140	28%
1992	158,42	170	7%
1993	132,92	120	11%
1994	106,12	105	1%
1995	80,61	75	7%
1996	58,24	40	46%
1997	40,03	30	33%

Figura 6-6. Simulación de los precios de Microsoft Word para DOS y los datos históricos.



6.3 Validación de condiciones extremas.

Se verifica el modelo la validez del modelo asignando valores extremos incluso por fuera de los que consideraría un comportamiento verosímil, con el fin de detectar comportamientos anómalos en el sistema (Sterman, 2000). Las variables de entrada al modelo son:

N_{ij} : Mercado potencial inicial para la firma i y la versión j . Representa la proporción del mercado potencial con el que cuenta la generación de producto en el momento de ser lanzada.

t_{ij} : Tiempo de simulación en el que se lanza la versión j de la firma i .

α_{ij} : Coeficiente de innovación para la firma i y la versión j . Es el coeficiente de innovación inicial que la versión de

producto tiene cuando es lanzada; una vez iniciada la simulación este coeficiente varía en función de las ventas.

β_{ij} : Coeficiente de imitación para la firma i y la versión j . De igual forma, es el coeficiente de imitación inicial que la versión de producto y una vez iniciada la simulación este coeficiente cambia conforme se desarrollan de las ventas (ecuaciones 13).

Porcentaje I&D_{ij}: Es el porcentaje de las ventas destinado a la inversión en I&D para la versión j de la firma i . Esta variable se asigna de acuerdo a una política fijada por cada firma.

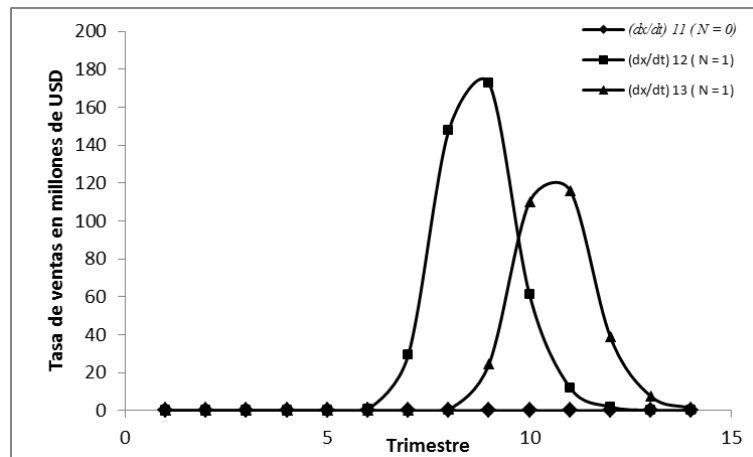
6.3.1 Evaluación sobre la tasas de ventas

Las ecuaciones (41) a (49) presentan las tasas de ventas en función del mercado potencial y los coeficientes de innovación e imitación como principales variables. En la ecuación (41) se puede observar la relación directa entre el Mercado potencial inicial y la tasa de venta, si $\bar{N}_{ij} \rightarrow 0$, entonces $\frac{dx}{dt} \rightarrow 0$, y si $\bar{N}_{ij} \rightarrow \infty$, igualmente $\frac{dx}{dt} \rightarrow \infty$.

En la Figura 6-7 se presenta el comportamiento de las ventas de la firma pionera cuando el mercado potencial toma valores de cero o valores extremadamente grandes en la segunda y tercera generación. Cuando el mercado potencial es cero, la firma no tiene ventas en estas generaciones. Con grandes potenciales de mercado, las ventas se incrementan ostensiblemente dado que la firma con una base instalada

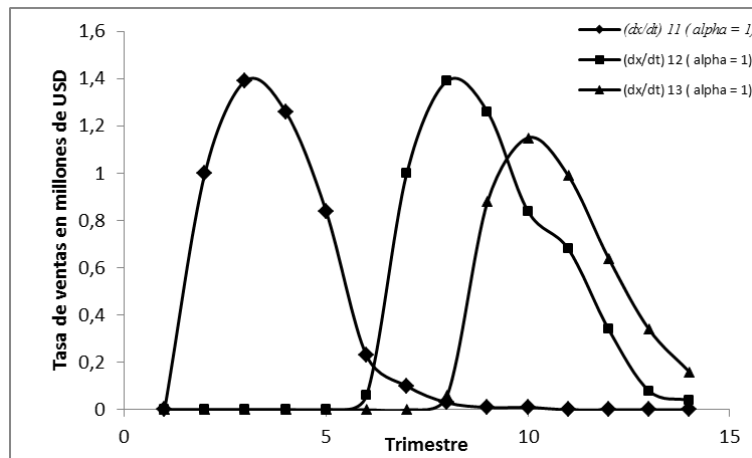
inicial tan alta, supera las ventas de la primera generación de producto.

Figura 6-7. Comportamiento de las ventas en función del mercado potencial.



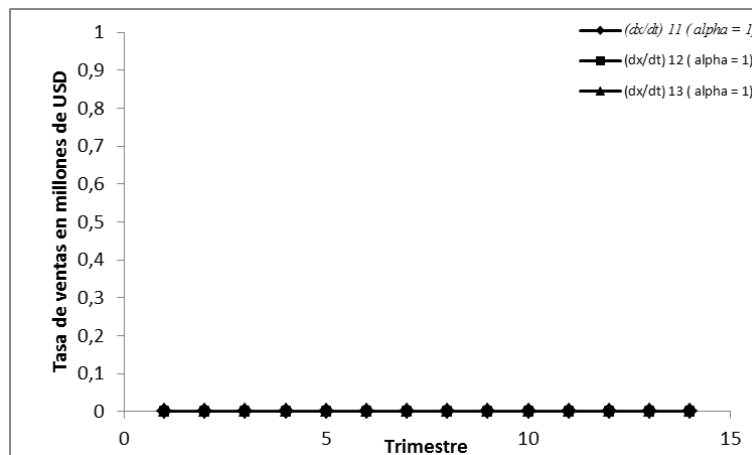
Por otra parte, la Figura 6-8 muestra la sensibilidad de la tasa de ventas a los coeficientes de innovación e imitación. Haciendo cero el coeficiente de imitación (β), se tiene un escenario constituido por adoptadores únicamente innovadores; es decir, usuarios que adquieren los productos motivados únicamente por influencias externas (Liu08). Por esta razón, en la simulación aparecen tasas de ventas anuales diferentes e cero.

Figura 6-8. Comportamiento de la tasa de ventas cuando el coeficiente de imitación es cero.



Si los coeficientes de innovación son diferentes de cero y los de imitación son nulos, los imitadores no tienen a quien seguir. La simulación del modelo muestra este comportamiento extremo, con valores de la tasa de ventas en la Figura 6-9.

Figura 6-9. Comportamiento de la tasa de ventas cuando el coeficiente de innovación es cero.



La justificación puede verse también desde la misma estructura matemática de la tasa de adopción. La ecuación (41) puede reescribirse como:

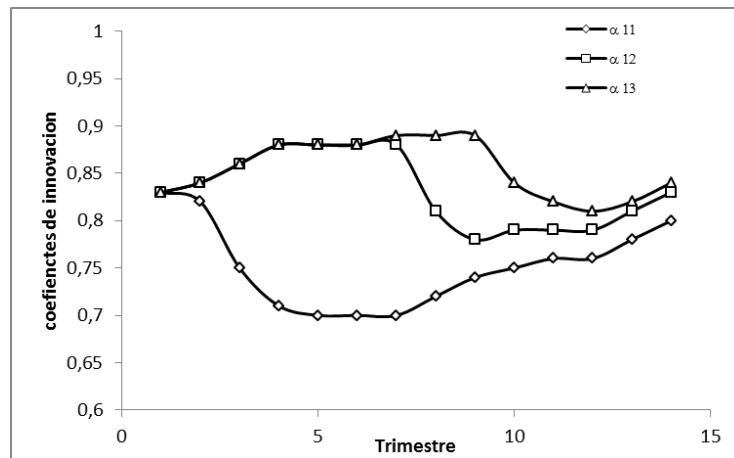
$$\frac{dx}{dt} = \alpha \frac{(\alpha + \beta)^2 e^{-(\alpha + \beta)t}}{[\alpha + \beta e^{-(\alpha + \beta)t}]^2}$$

Cuando $\alpha \rightarrow 0$, entonces $\frac{dx}{dt} \rightarrow 0$. Sin embargo cuando $\beta \rightarrow 0$, la tasa de ventas se mantiene diferente de cero, que corresponde a un mercado sin imitadores.

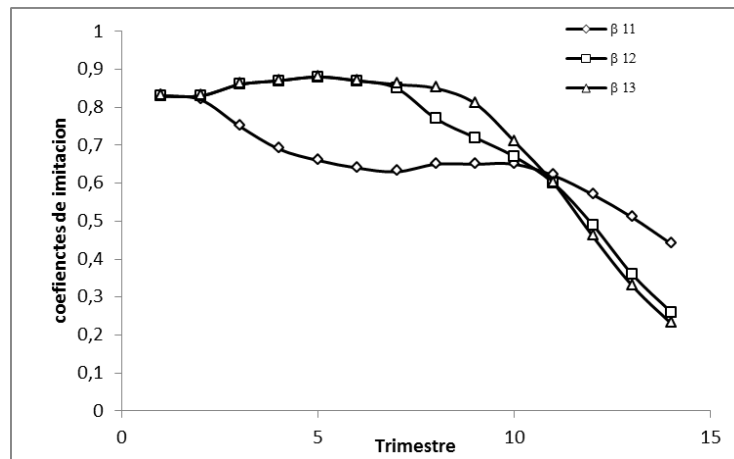
6.3.2 Evaluación sobre los coeficientes de innovación e imitación.

Las ecuaciones 50 y 51 muestran los modelos propuestos para los coeficientes de innovación e imitación. En el primero, conforme las ventas acumuladas procedentes de los innovadores aumenta, la probabilidad de que un nuevo adoptador de tipo innovador adquiriera el producto disminuye; es decir, si $x_{in} \rightarrow 0$, entonces $\alpha \rightarrow 1$ y si $x_{in} \rightarrow \text{base instalada}$, entonces $\alpha \rightarrow 0$. La Figura 6-10 muestra una simulación del modelo propuesto en la cual se aprecia cómo, conforme las ventas van aumentando, los coeficientes de innovación decaen a medida que los adoptadores de tipo innovador adquieren el producto.

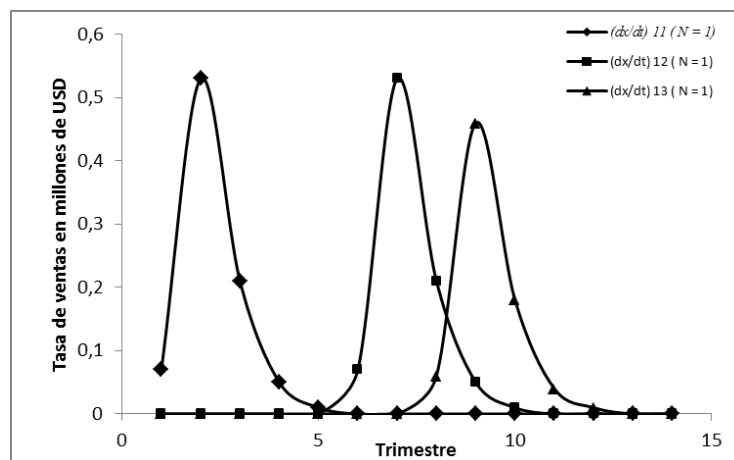
Figura 6-10. Comportamiento de la tasa de innovación (b) e imitación (c) en función de las ventas (a).



(a)



(b)



(c)

Así mismo, los coeficientes de imitación decaen más lentamente una vez que la generación de producto ha sido lanzada al mercado. A medida que el mercado se satura con productos la demanda disminuye, que es lo que representa el comportamiento de estos coeficientes.

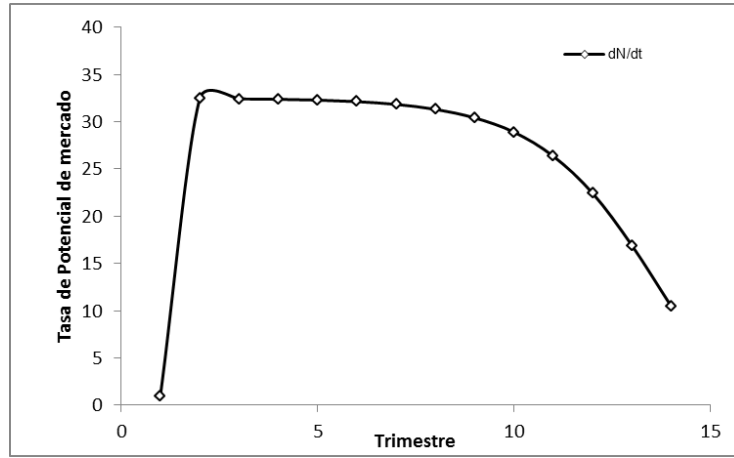
Mercado potencial

En la ecuación (52) se muestra cómo el mercado potencial se ve afectado por las ventas acumuladas de cada firma y por el coeficiente de imitación.

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = \sum_{(i,j)=(1,1)}^{(2,3)} \left(\beta_{ij} \frac{x_{ij}(t)}{F_{ij}(t)} \right)$$

En este sentido, cuando el coeficiente de imitación (β) es máximo, las ventas (x_{ij}) son mínimas porque el producto aún no se ha difundido, si $\beta_{ij} \rightarrow 1$ entonces $x_{ij} \rightarrow 0$ lo que implica que $\frac{dN_{ij}}{dt} \rightarrow 0$. Sin embargo, al final cuando el producto ha sido totalmente difundido y no hay más generaciones de producto por lanzar, el mercado potencial se agota, si $x_{ij} \rightarrow \infty$ entonces $\frac{dN_{ij}}{dt} \rightarrow 0$. En la Figura 6-11 se muestra el comportamiento de la tasa de cambio del mercado potencial con valores que tienden a cero al principio y al final de la simulación.

Figura 6-11. Comportamiento de la tasa de cambio del mercado potencial.



Precios.

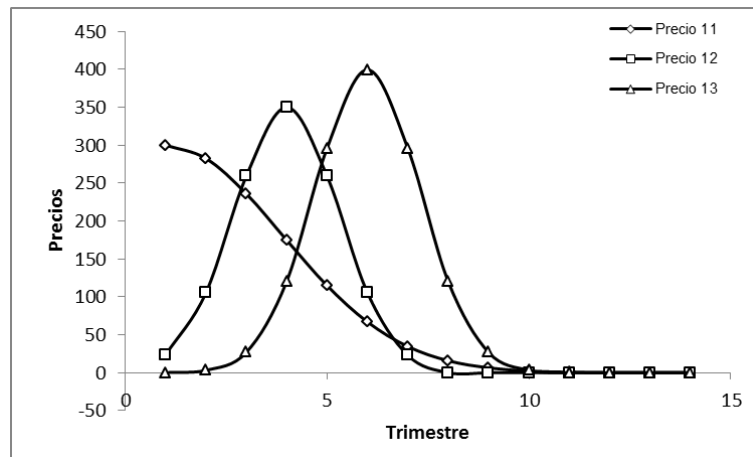
En la ecuación (53) se muestra la función de precios. Haciendo una inspección de esta ecuación puede hacerse inferencia de su comportamiento en escenarios de valores extremos.

$$P_{ij}(t_{ij}, x_{ij}) = P_{o(ij)} e^{-A(t_{ij}-t_{oij})^2} e^{-B(x_{ij}-x_{oij})^2}$$

Si el precio máximo de cada generación de producto $P_{0ij} \rightarrow 0$ es claro que el precio será nulo en todo tiempo t o, si bien $P_{0ij} \rightarrow \infty$, entonces el precio crece asintóticamente. Si las tasas de crecimiento del precio con respecto al tiempo y la base instalada, A_{0ij} y B_{0ij} , son nulos, el precio permanece constante e igual a P_{0ij} . Por el contrario, si cualquiera de los valores, A_{0ij} y B_{0ij} toman valores muy grandes, los precios se reducen de forma exponencial; es decir, conforme la tasa de decrecimiento aumenta, entonces los precios disminuyen de forma exponencial. A medida que el tiempo y la base instalada crecen, los precios disminuyen en forma consecuente con el comportamiento de los precios en un

mercado de software. En la Figura 6-12 se observa el comportamiento de precios para tres generaciones sucesivas de productos.

Figura 6-12. Precios de tres generaciones de productos



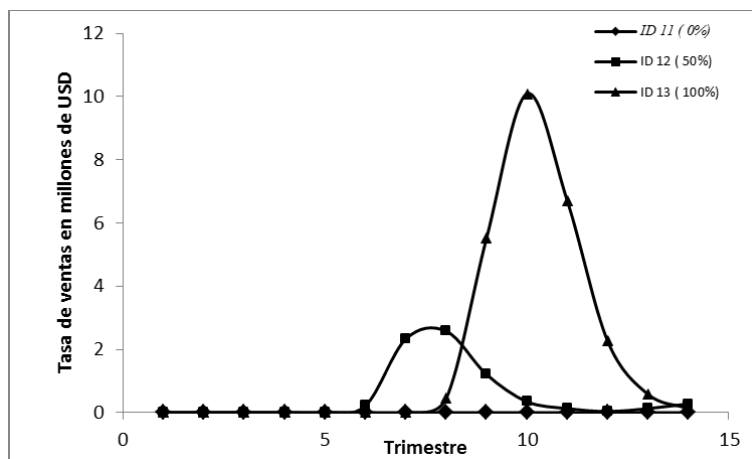
Puede observarse cómo la primera generación parte del precio más alto y luego decae a medida que las siguientes generaciones van entrando en el mercado. Las generaciones sucesivas comienzan con precios mínimos que aumentan hasta que la siguiente generación es lanzada.

Inversión en I&D

La variable que introduce el efecto de la inversión en I&D se presenta en la ecuación (54). A mayor inversión en I&D, no solo se tienen más incentivos para producir nuevas versiones de producto sino que las ventas deben aumentar. En la Figura 6-13 se presentan los resultados simular el

efecto de inversión en I&D sobre la tasa de ventas cuando se invierte un 0%, 50% y un 100%. Los resultados muestran que si no se invierte en I&D las ventas son nulas y cuando se invierte el máximo posible las ventas son las máximas posibles.

Figura 6-13. Efecto de la inversión en I&D sobre la tasa de ventas.



De esta forma se ha elaborado una prueba de condiciones extremas en el modelo para verificar su verosimilitud con un mercado real. En todas las variables se elaboró un análisis bien desde el punto de vista de la ecuación o bien desde los resultados de simulación del modelo y, en algunos casos, desde los dos puntos de vista. Los resultados muestran que, en condiciones extremas, las variables del modelo se comportan con un sentido lógico y sin problemas propios del análisis numérico.

Los resultados de la validación con información de firmas reales, muestra la capacidad del modelo propuesto para la simulación de las ventas de una firma en mercado con

versiones de producto, e inversión en I&D. Parte de la información requerida en el modelo tuvo que ajustarse hasta lograr una respuesta comparable con las ventas de las firmas citadas en esta validación. A pesar de estas limitaciones, el modelo deja entrever su potencial como herramienta en la toma de decisiones en las estrategias de precios, inversión en I&D, tiempo de lanzamiento de productos y precios con el fin de visualizar el desempeño de las ventas de una generación de producto.

7 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTOS

A continuación se simulan estrategias variando la inversión en I&D, el tiempo de entrada de cada una de las sucesivas generaciones del producto y el mercado potencial inicial, con el objetivo de determinar las condiciones necesarias para que la firma Pionera o la ET logren, bien sea sobrevivir a la competencia o superar a su competidor. También se presenta la simulación de estrategias de precios para determinar su efecto en las ventas.

El primer escenario (escenario cero) simula la competencia de las firmas en igualdad de condiciones, salvo posiblemente, en los tiempos de entrada de las generaciones de productos, este primer escenario busca asentar una línea base de comparación para los otros escenarios. El escenario uno tiene una única variación, una Pionera con un mercado potencial inicial mayor con respecto al de la ET, esto permite visualizar como se desenvuelve la ET ante la principal ventaja del primer entrante, una base instalada de adoptadores.

En el segundo escenario la Pionera sigue con la ventaja de un potencial del mercado inicial mayor, pero la inversión en I&D de la ET es un 33% mayor que la de la Pionera, esto permite ver las ventajas que la I&D puede llevar a una firma y si es capaz de superar la desventaja de no contar con una base instalada al principio. En el tercer escenario se supone de nuevo una ET con un mercado potencial menor y una inversión en I&D igual a la Pionera pero con una mayor frecuencia de lanzamiento de generaciones de producto que la

pionera, este escenario permite ver el efecto de la capacidad de innovación, en forma de generaciones de productos, sobre las ventas de las firmas.

El cuarto escenario supone una ET con mayor inversión en I&D y que lanza generaciones de productos con mayor frecuencia que la Pionera que sólo tiene la ventaja del primer entrante. Este escenario plantea si es posible que bajo estas condiciones la ET logre remontar el dominio de la Pionera en el mercado. Todos los escenarios anteriores tenían una influencia en los precios de manera indirecta, sin embargo hace falta verificar a través del modelo si la política de una Pionera dominante de bajar los precios para generar barreras en entrada puede o no ser superada. En el quinto escenario se simula esta situación y se establece las condiciones necesarias para que la ET supere dicha barrera.

7.1 Escenario base.

Se suponen unas condiciones de competencia entre dos firmas con tres generaciones de producto durante un periodo de tiempo de 15 meses, cada una plantea una política de inversión como un porcentaje de las ventas anuales, pero el producto es lanzado dos años después de que la inversión en I & D se ha realizado; es decir, la inversión en I & D del producto actual es financiado con las ventas de la generación de producto anterior salvo en el caso de la primera generación. Las variables de este primer escenario se muestran en la Tabla 7-1 Se suponen condiciones iguales para las dos firmas salvo en la entrada de cada una de las generaciones de producto, las generaciones de la ET se

lanzan con un retardo de tres (3) meses con respecto a las de la Pionera.

Tabla 7-1. Condiciones iniciales para escenario base de simulación.

Año	Pionera					ET				
	Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios		Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios	
1	0,2	X	1	$P_o(11)$	10	0,2		1	$P_o(21)$	10
2	0,2		1	$P_o(12)$	10	0,2		1	$P_o(22)$	10
3	0,2		1	$P_o(13)$	10	0,2		1	$P_o(23)$	10
4	0,2		1	A_{11}	0,5	0,2	X	1	A_{21}	0,5
5	0,2	X	1	A_{12}	0,5	0,2		1	A_{22}	0,5
6	0,2		1	A_{13}	0,5	0,2		1	A_{23}	0,5
7	0,2		1	B_{11}	0,5	0,2		1	B_{21}	0,5
8	0,2		1	B_{12}	0,5	0,2	X	1	B_{22}	0,5
9	0,2		1	B_{13}	0,5	0,2		1	B_{23}	0,5
10	0,2	X	1	$t_o 11$	2	0,2		1	$t_o 21$	5
11	0,2		1	$t_o 12$	6	0,2		1	$t_o 22$	9
12	0,2		1	$t_o 13$	11	0,2	X	1	$t_o 23$	13
13	0,2		1	$x_o 11$	5	0,2		1	$x_o 21$	5
14	0,2		1	$x_o 12$	5	0,2		1	$x_o 22$	5
15	0,2		1	$x_o 13$	5	0,2		1	$x_o 23$	5

Los resultados de esta primera simulación muestran que con estas condiciones iniciales no hay una ventaja significativa para una u otra firma salvo el hecho de que la Pionera comienza a captar adoptadores más rápidamente Tabla 7-2 y Figura 7-1. Con respecto a los precios tampoco hay grandes diferencias entre las dos firmas salvo en la primera generación de producto donde el pionero sube el precio debido a que no tiene competencia. Esto representa una

forma de especulación en condición de monopolio donde se puede especular con el precio al no tener rivales; sin embargo, una vez aparece la primera generación de la ET los precios se reducen y se estabilizan en adelante. Debido a que las condiciones iniciales son tan similares se puede suponer que el mercado se divide de forma más o menos equitativas entre la Pionera y la ET.

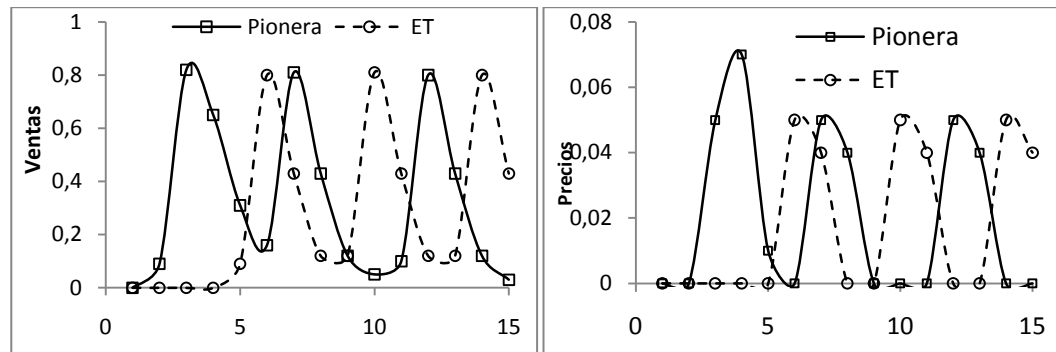
Tabla 7-2 Simulación de escenario base bajo iguales condiciones iniciales

Ventas			Precios	
Año	Pionera	ET	Pionera	ET
1	0	0	0	0
2	0,09	0	0	0
3	0,82	0	0,05	0
4	0,65	0	0,07	0
5	0,31	0,09	0,01	0
6	0,16	0,8	0	0,05
7	0,81	0,43	0,05	0,04
8	0,43	0,12	0,04	0
9	0,12	0,12	0	0
10	0,05	0,81	0	0,05
11	0,1	0,43	0	0,04
12	0,8	0,12	0,05	0
13	0,43	0,12	0,04	0
14	0,12	0,8	0	0,05
15	0,03	0,43	0	0,04

Los precios iguales a cero después de que la generación de productos es lanzada significan que, conforme la generación

de difunde en el mercado, cada vez menos adoptadores tienen disposición a comprarlo y en respuesta, la política de precios debe reducir su valor.

Figura 7-1. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario base.



A continuación se presentan el comportamiento de los precios y las ventas en diversos escenarios para ambas firmas.

7.2 Escenario 1

En este escenario (Tabla 7-3), se modifica únicamente el mercado potencial inicial de la de la primera generación para la Pionera, haciéndolo mayor que la ET; es decir, se supone que al inicio la ET tiene una fracción menor de todo el mercado potencial, que puede estar constituido por aquellos adoptadores potenciales que no compran la primera versión de la Pionera, o bien la compraron pero deciden cambiarse a la ET.

En estas condiciones la Pionera mantiene su hegemonía en el mercado (

Figura 7-2) en la primera generación de producto; sin embargo, las ventas se hacen similares a las de la ET en las generaciones sucesivas (Por otra parte, una mirada a los precios muestra cómo la Pionera mantiene precios muy por encima de la ET debido a su posición dominante (Figura 6-3).

Este escenario muestra una Pionera que no tiene en cuenta las amenazas de los nuevos entrantes ya que no reacciona con inversión en I & D para el desarrollo de nuevos productos en un menor tiempo, o con estrategias de precios u otros incentivos para atraer tanto a nuevos adoptadores potenciales como para mantener su base instalada consigo.

Esto permite deducir que la ventaja del primer entrante no es una condición necesaria y suficiente para dominar el mercado en competencia.

Tabla 7-3. Condiciones iniciales para escenario uno de simulación

Pionera						ET				
Año	Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios		Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios	
1	0,2	X	2	$P_{o(11)}$	10			1	$P_{o(21)}$	10
2	0,2		1	$P_{o(12)}$	10			1	$P_{o(22)}$	10
3	0,2		1	$P_{o(13)}$	10			1	$P_{o(23)}$	10
4	0,2		1	A_{11}	0,5	0,2	X	1	A_{21}	0,5
5	0,2	X	1	A_{12}	0,5	0,2		1	A_{22}	0,5
6	0,2		1	A_{13}	0,5	0,2		1	A_{23}	0,5
7	0,2		1	B_{11}	0,5	0,2		1	B_{21}	0,5
8	0,2		1	B_{12}	0,5	0,2	X	1	B_{22}	0,5
9	0,2		1	B_{13}	0,5	0,2		1	B_{23}	0,5
10	0,2	X	1	t_{o11}	2	0,2		1	t_{o21}	5
11	0,2		1	t_{o12}	6	0,2		1	t_{o22}	9
12	0,2		1	t_{o13}	11	0,2	X	1	t_{o23}	13
13	0,2		1	x_{o11}	5	0,2		1	x_{o21}	5
14	0,2		1	x_{o12}	5	0,2		1	x_{o22}	5
15	0,2		1	x_{o13}	5	0,2		1	x_{o23}	5

Por otra parte, una mirada a los precios muestra cómo la Pionera mantiene precios muy por encima de la ET debido a su posición dominante.

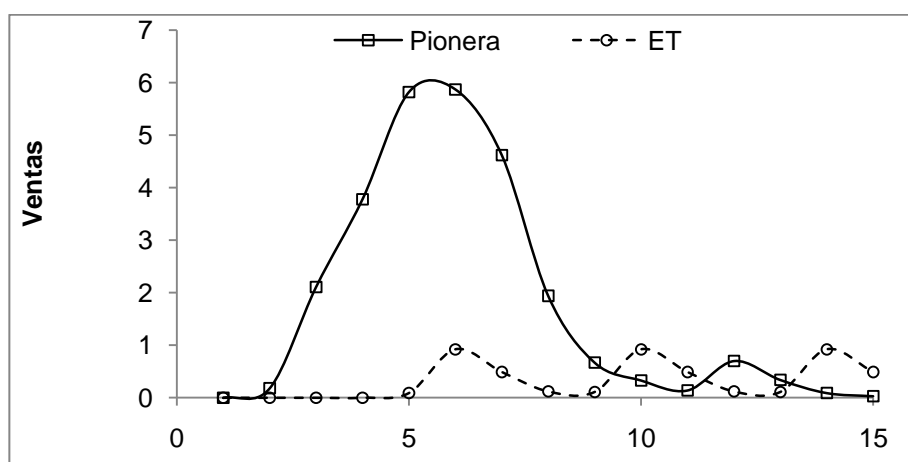
Este escenario muestra una Pionera que no tiene en cuenta las amenazas de los nuevos entrantes ya que no reacciona con inversión en I & D para el desarrollo de nuevos productos en un menor tiempo, o con estrategias de precios u otros incentivos para atraer tanto a nuevos adoptadores potenciales como para mantener su base instalada consigo.

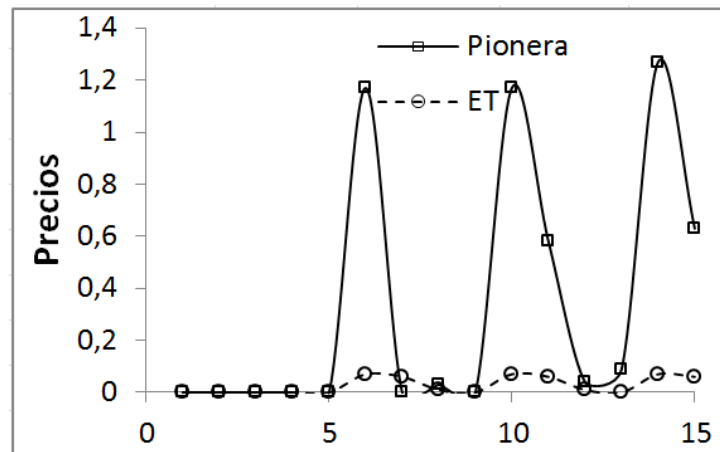
Tabla 7-4 Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario uno

Ventas			Precios	
Año	Pionera	ET	Pionera	ET
1	0	0	0	0

2	0,18	0	0	0
3	2,11	0	0	0
4	3,78	0	0	0
5	5,82	0,09	0	0
6	5,89	0,92	1,17	0,07
7	4,86	0,49	0	0,06
8	2,1	0,12	0,03	0,01
9	0,71	0,11	0	0
10	0,64	0,92	1,17	0,07
11	0,35	0,49	0,58	0,06
12	1,01	0,12	0,04	0,01
13	0,53	0,11	0,09	0
14	0,14	0,92	1,27	0,07
15	0,03	0,49	0,63	0,06

Figura 7-2 Comportamiento de las ventas y precios bajo el escenario uno.





7.3 Escenario 2

Se supone ahora que la Pionera tiene la misma ventaja de un mercado potencial inicial igual al doble que la ET, pero con una estrategia de inversión en I & D sostenida al 15% de las ventas; es decir, de las ventas de cada año, se invierte un 15% en el desarrollo o mejora incremental de las siguientes generaciones de productos, no necesariamente sucesivas, de modo que esta inversión no se ve reflejada en la salida de versiones más rápidamente. En la Tabla 7-5. Condiciones iniciales para escenario dos de simulación se muestran las condiciones de simulación para este escenario.

Tabla 7-5.Condiciones iniciales para escenario dos de simulación

Pionera						ET				
Año	Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios		Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios	
1	0,15	X	2	$P_{o(11)}$	10			1	$P_{o(21)}$	10
2	0,15		1	$P_{o(12)}$	10			1	$P_{o(22)}$	10
3	0,15		1	$P_{o(13)}$	10			1	$P_{o(23)}$	10
4	0,15		1	A_{11}	0,5	0,2	X	1	A_{21}	0,5
5	0,15	X	1	A_{12}	0,5	0,2		1	A_{22}	0,5
6	0,15		1	A_{13}	0,5	0,2		1	A_{23}	0,5
7	0,15		1	B_{11}	0,5	0,2		1	B_{21}	0,5
8	0,15		1	B_{12}	0,5	0,18	X	1	B_{22}	0,5
9	0,15		1	B_{13}	0,5	0,18		1	B_{23}	0,5
10	0,15	X	1	t_{o11}	2	0,18		1	t_{o21}	5
11	0,15		1	t_{o12}	6	0,18		1	t_{o22}	9
12	0,15		1	t_{o13}	11	0,15	X	1	t_{o23}	13

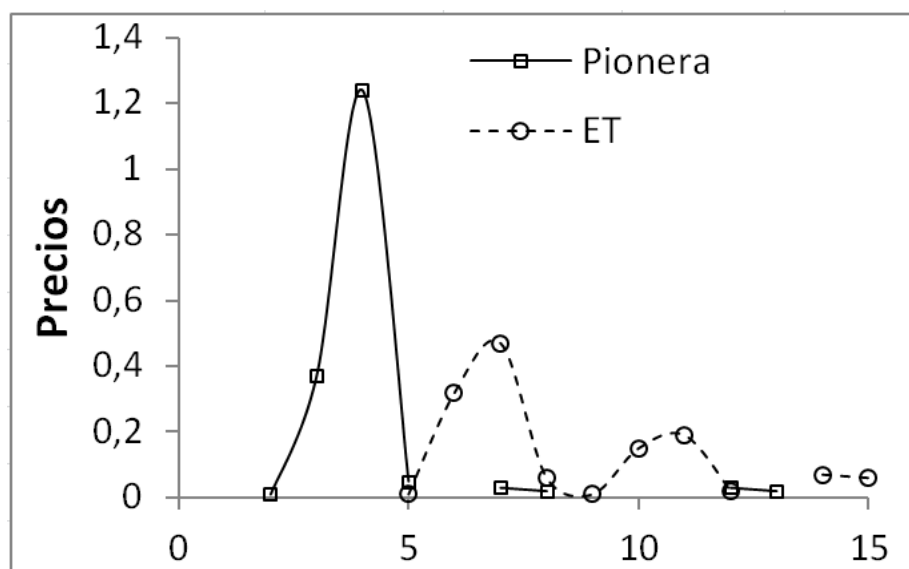
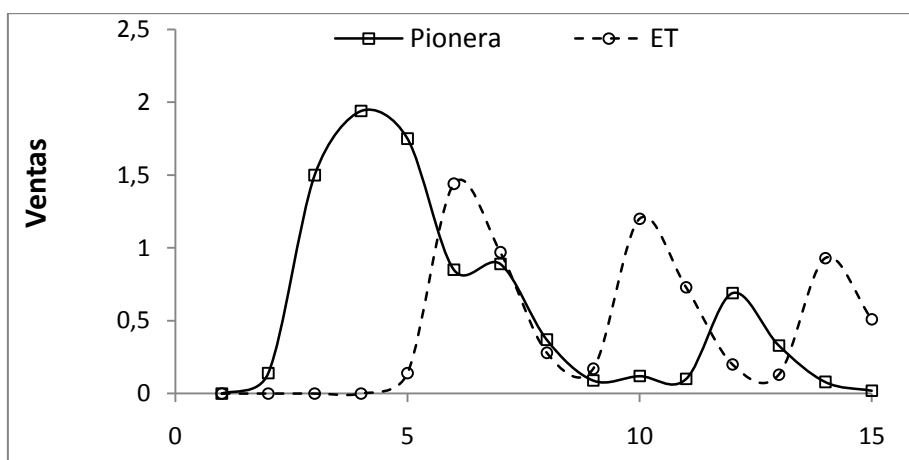
Los resultados de simulación muestran la sensibilidad a la inversión en I & D; la ET, aunque no alcanza las ventas de la Pionera en la primera generación de productos, sí la supera en las siguientes versiones. Se nota también la forma en que decrecen las curvas de ventas en las dos (Tabla 7-6 y

Figura 7-2). Dado que el ritmo de renovación del mercado potencial es función de los coeficientes de imitación, se tendrá que, si las dos firmas comienzan a tener ritmos de ventas similares, entonces el coeficiente de imitación disminuirá para las dos firmas de modo que cada vez menos adoptadores potenciales nuevos entran al mercado. Por otra parte los precios aumentan casi tres veces más con respecto al escenario uno, pero los precios de la ET se mantienen muy por debajo de los de la Pionera.

Tabla 7-6. Simulación de escenario dos.

Ventas			Precio	
Año	Pioner a	ET	Pionera	ET
1	0	0	0	0
2	0,14	0	0,01	0
3	1,5	0	0,37	0
4	1,94	0	1,24	0
5	1,75	0,14	0,05	0,01
6	0,85	1,44	0	0,32
7	0,89	0,97	0,03	0,47
8	0,37	0,28	0,02	0,06
9	0,09	0,17	0	0,01
10	0,12	1,2	0	0,15
11	0,1	0,73	0	0,19
12	0,69	0,2	0,03	0,02
13	0,33	0,13	0,02	0
14	0,08	0,93	0	0,07
15	0,02	0,51	0	0,06

Figura 7-2. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario dos.



Es evidente el efecto de la I & D en las ventas anuales, más cuando se tiene en cuenta que son un porcentaje de las ventas; es decir, aunque la ET invierta un alto porcentaje de sus ventas en I & D, sus ventas en la primera generación de producto son bajas en comparación con la Pionera, de modo que su inversión neta es al fin y al cabo menor; sin embargo, una firma nueva y joven tiene más momentum a la hora de innovar, lo cual es un punto a su favor; una firma con más trayectoria, infraestructura y experiencia tiene también más inercia para adaptarse a cambios tecnológicos.

7.4 Escenario 3

Este escenario consiste en simular los efectos que puede implicar no darse cuenta de la entrada de un competidor o reaccionar de manera tardía a pesar de tener casi toda la base instalada. Se supone que el mercado potencial inicial de la Pionera es un 50% mayor que el de la ET cuando entra con su primera generación (Tabla 7-7); la Pionera introduce la segunda y tercera generación de producto en los años 12 y 14, mientras que la ET se toma el mercado con versiones sucesivas cada tres años a partir del quinto año; los porcentajes de inversión en I & D son iguales para ambas firmas.

Tabla 7-7. Condiciones iniciales para escenario tres de simulación

Pionera						ET				
Año	Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios		Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios	
1	0,2	X	1,5	$P_{o(11)}$	10				$P_{o(21)}$	10
2	0,2		1	$P_{o(12)}$	10				$P_{o(22)}$	10
3	0,2		1	$P_{o(13)}$	10				$P_{o(23)}$	10
4	0,2		1	A_{11}	0,5	0,2		1	A_{21}	0,5
5	0,2		1	A_{12}	0,5	0,2	X	1	A_{22}	0,5
6	0,2		1	A_{13}	0,5	0,2		1	A_{23}	0,5
7	0,2		1	B_{11}	0,5	0,2		1	B_{21}	0,5
8	0,2		1	B_{12}	0,5	0,2	X	1	B_{22}	0,5
9	0,2		1	B_{13}	0,5	0,2		1	B_{23}	0,5
10	0,2		1	t_{o11}	2	0,2		1	t_{o21}	5
11	0,2		1	t_{o12}	6	0,2	X	1	t_{o22}	9
12	0,2	X	1	t_{o13}	11	0,2		1	t_{o23}	13
13	0,2		1	x_{o11}	5	0,2		1	x_{o21}	5
14	0,2	X	1	x_{o12}	5	0,2		1	x_{o22}	5
15	0,2		1	x_{o13}	5	0,2		1	x_{o23}	5

Como resultado de esta estrategia, la ET ofrece productos cuando el mercado lo demanda y la Pionera no aparece para satisfacer al mercado potencial (

Figura 7-3. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario tres.

Figura 7-3). Llama la atención cómo la segunda generación de producto no se ve en la curva de ventas; resulta verosímil pensar que la segunda y la tercera generación de productos se superponen. La

Tabla 7-8 muestra que las ventas en el año 12 tienen un máximo relativo que luego decrece progresivamente.

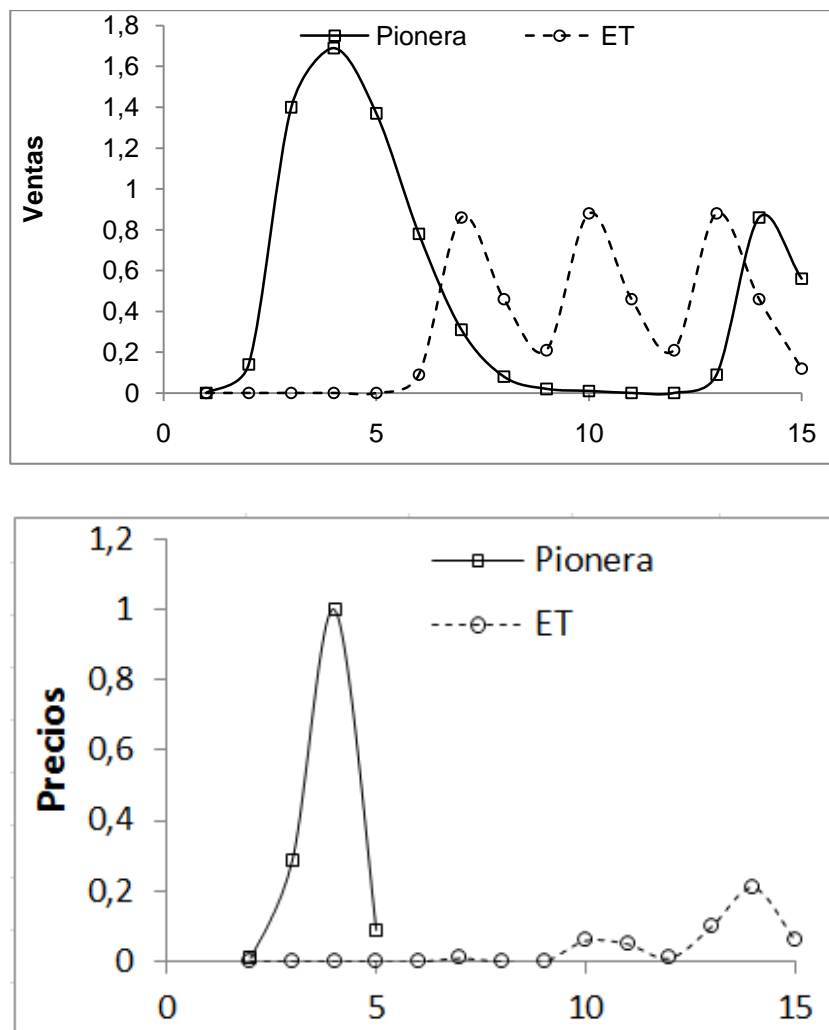
Tabla 7-8. Simulación de escenario tres.

Ventas			Precios	
Año	Pionera	ET	Pionera	ET
1	0	0	0	0
2	0,14	0	0,01	0
3	1,4	0	0,29	0
4	1,69	0	1	0
5	1,37	0	0,09	0
6	0,78	0,09	0	0
7	0,31	0,86	0	0,01
8	0,08	0,46	0	0
9	0,02	0,21	0	0
10	0,01	0,88	0	0,06
11	0	0,46	0	0,05
12	0	0,21	0	0,01
13	0,09	0,88	0	0,1
14	0,86	0,46	0	0,21
15	0,56	0,12	0	0,06

La relación de precios ahora está en promedio de 3,5 para la Pionera y 0,07 para la ET. Este escenario muestra cómo la estrategia de introducción de generaciones de productos puede revertir incluso la ventaja del primer entrante. La inversión en I & D favorece, o bien el diseño de procesos de producción a más bajo costo (Shy, 1996), o el desarrollo

de nuevas generaciones de producto que incluye la adaptación a tecnologías disruptivas (Keller & Hüsig, 2009).

Figura 7-3. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario tres.



Una evidencia de la capacidad adaptación a los requerimientos del mercado es el lanzamiento de generaciones sucesivas de producto. En el caso de firmas Pioneras bien establecidas es posible que no tengan la prioridad de

adaptarse al mercado cuando están en posición de imponer un estándar, pero la llegada de una tecnología disruptiva puede revertir toda esta estabilidad.

7.5 Escenario 4

Esta condición recoge parte de las estrategias de los escenarios anteriores tendientes a lograr una ET dominante en las ventas. Se supone una ET con una estrategia de inversión en I & D mayor o igual a la Pionera (Tabla 7-9).

Tabla 7-9. Condiciones iniciales para escenario cuatro de simulación

Pionera						ET				
Año	Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios		Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios	
1	0,15	X	1,5	$P_{o(11)}$	10				$P_{o(21)}$	10
2	0,15		1	$P_{o(12)}$	10				$P_{o(22)}$	10
3	0,15		1	$P_{o(13)}$	10				$P_{o(23)}$	10
4	0,15		1	A_{11}	0,5	0,2		1	A_{21}	0,5
5	0,15	X	1	A_{12}	0,5	0,2	X	1	A_{22}	0,5
6	0,15		1	A_{13}	0,5	0,2		1	A_{23}	0,5
7	0,15		1	B_{11}	0,5	0,2		1	B_{21}	0,5
8	0,15		1	B_{12}	0,5	0,2	X	1	B_{22}	0,5
9	0,15		1	B_{13}	0,5	0,2		1	B_{23}	0,5
10	0,15	X	1	t_{o11}	2	0,2		1	t_{o21}	5
11	0,15		1	t_{o12}	6	0,2	X	1	t_{o22}	9
12	0,15		1	t_{o13}	11	0,2		1	t_{o23}	13
13	0,15		1	x_{o11}	5	0,2		1	x_{o21}	5
14	0,15		1	x_{o12}	5	0,2		1	x_{o22}	5
15	0,15		1	x_{o13}	5	0,2		1	x_{o23}	5

La ET lanza generaciones de productos con mayor frecuencia que la Pionera cuya única ventaja es la del

primer entrante en términos de un mercado potencial inicial un 50% mayor a la ET.

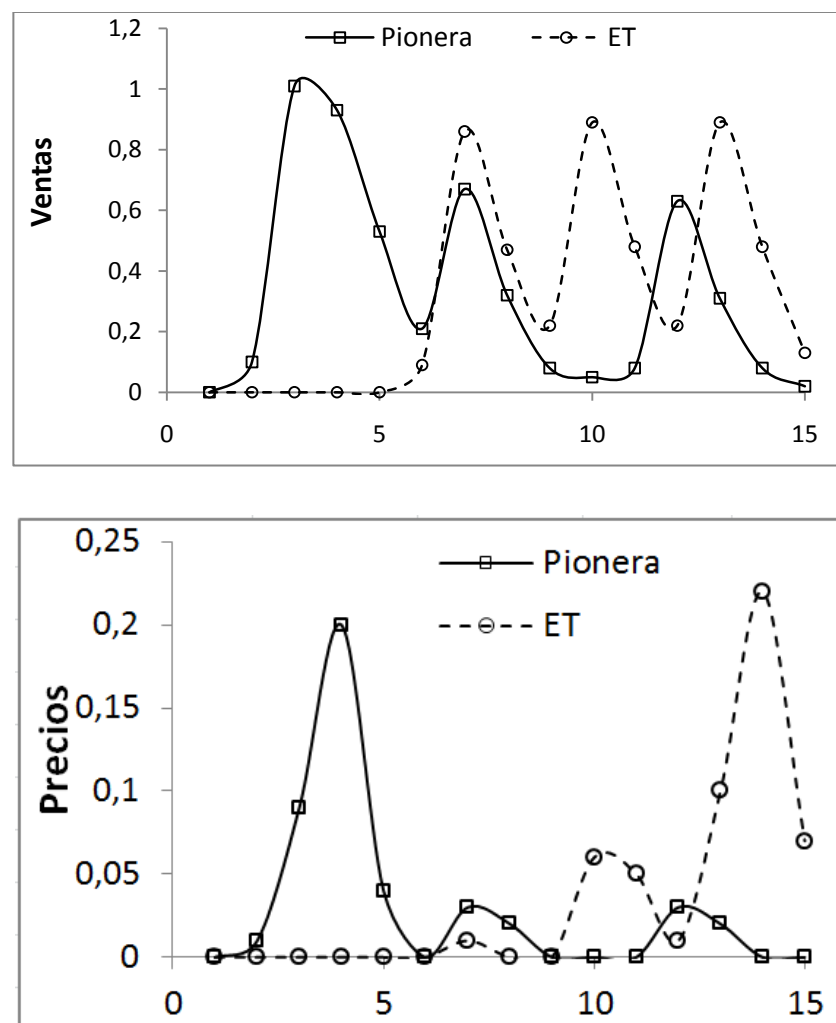
Los resultados muestran cómo la ET supera las ventas del Pionero incluso desde el lanzamiento de la primera generación; de hecho, la Pionera presenta un descenso progresivo en sus ventas en cada generación (Tabla 7-10 y Figura 7-4).

Tabla 7-10. Simulación del escenario cuatro.

Ventas			Precios	
Año	Pionera	ET	Pionera	ET
1	0	0	0	0
2	0,1	0	0,01	0
3	1,01	0	0,09	0
4	0,93	0	0,2	0
5	0,53	0	0,04	0
6	0,21	0,09	0	0
7	0,67	0,86	0,03	0,01
8	0,32	0,47	0,02	0
9	0,08	0,22	0	0
10	0,05	0,89	0	0,06
11	0,08	0,48	0	0,05
12	0,63	0,22	0,03	0,01
13	0,31	0,89	0,02	0,1
14	0,08	0,48	0	0,22
15	0,02	0,13	0	0,07

Los precios de la primera generación de la ET son muy inferiores a la primera generación de la Pionera, pero en generaciones sucesivas los precios de la ET aumentan progresivamente, señal de que la ET ha dominado el mercado e impuesto sus condiciones sobre la competencia.

Figura 7-4. Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario cuatro.



Esta situación es muy similar al caso de competencia entre la Pionera Hancom y la ET Microsoft por el mercado de

procesadores de texto coreano citado en la Como se observa, para 1999 Microsoft inicia una fuerte competencia tanto en precios como en la rápida difusión y sustitución de generaciones de productos.

Para 2001, Microsoft logra que los adoptadores regulares de Hancom adopten los productos Microsoft sin importar el precio superior al de Hancom, ni los costos de cambio. De nuevo, la estrategia de Microsoft se basó en la red de usuarios haciendo a MS Word compatible tanto con Hangul, como con los caracteres del coreano. En la competencia entre firmas de software, cuando sus productos son exitosos generan importantes ganancias, en otro caso, pierden el mercado y son reemplazadas por otros competidores que rápidamente la sustituyen.

7.6 Escenario 5

Por último, se simula una situación igual al cuarto escenario con una única excepción, la estrategia de precios de la firma Pionera busca sacar del mercado a la ET con unos precios tan bajos como para desalentar a los adoptadores de adquirir los productos de la nueva competidora. En la

Tabla 7-11 se muestra la estrategia de la Pionera, la cual disminuye los precios iniciales de la primera y segunda generación a 2 y 5 unidades monetarias respectivamente.

Tabla 7-11. Condiciones iniciales para escenario cuatro de simulación

Pionera						ET				
Año	Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios		Porcentaje I + D con respecto a las ventas	Generación de producto	Mercado potencial inicial	Estrategia de precios	
1	0,15	X	1,5	$P_{o(11)}$	2				$P_{o(21)}$	10
2	0,15		1	$P_{o(12)}$	5				$P_{o(22)}$	10
3	0,15		1	$P_{o(13)}$	10				$P_{o(23)}$	10
4	0,15		1	A_{11}	0,5	0,2		1	A_{21}	0,5
5	0,15	X	1	A_{12}	0,5	0,2	X	1	A_{22}	0,5
6	0,15		1	A_{13}	0,5	0,2		1	A_{23}	0,5
7	0,15		1	B_{11}	0,5	0,2		1	B_{21}	0,5
8	0,15		1	B_{12}	0,5	0,2	X	1	B_{22}	0,5
9	0,15		1	B_{13}	0,5	0,2		1	B_{23}	0,5
10	0,15	X	1	t_{o11}	5	0,2		1	t_{o21}	5
11	0,15		1	t_{o12}	9	0,2	X	1	t_{o22}	9
12	0,15		1	t_{o13}	13	0,2		1	t_{o23}	13
13	0,15		1	x_{o11}	5	0,2		1	x_{o21}	5
14	0,15		1	x_{o12}	5	0,2		1	x_{o22}	5
15	0,15		1	x_{o13}	5	0,2		1	x_{o23}	5

El resultado de esta política no tiene mayor influencia en las ventas a pesar de que los precios de la Pionera se hacen inferiores a la ET (

Figura 7-5 y Tabla 7-12)

La simulación muestra que si la ET tiene una estrategia de inversión en I&D acertada, con innovación permanente de forma que ofrezca generaciones sucesivas de productos, puede incluso neutralizar la estrategia de la Pionera.

La simulación muestra que si la ET tiene una estrategia de inversión en I&D acertada, con innovación permanente de forma que ofrezca generaciones sucesivas de productos, puede incluso neutralizar la estrategia de la Pionera con una estrategia de la Pionera consiste en reducir los precios hasta un valor que la ET sea incapaz de competir y simplemente no soporta a competencia.

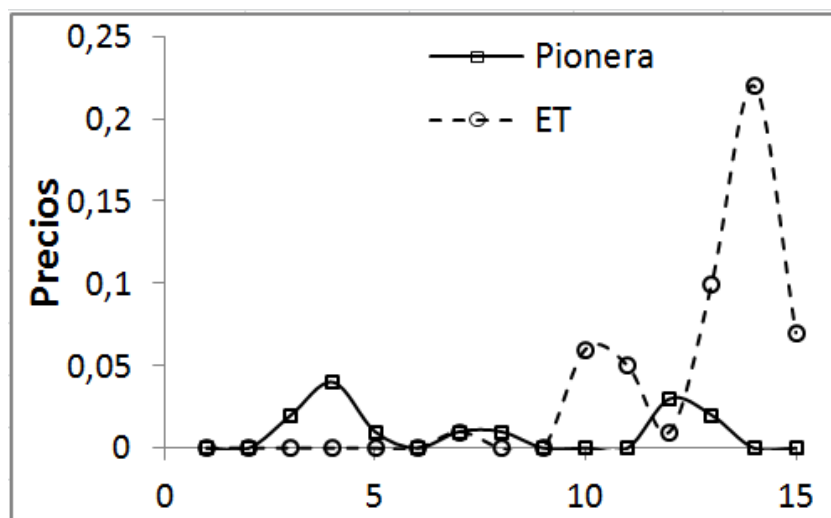
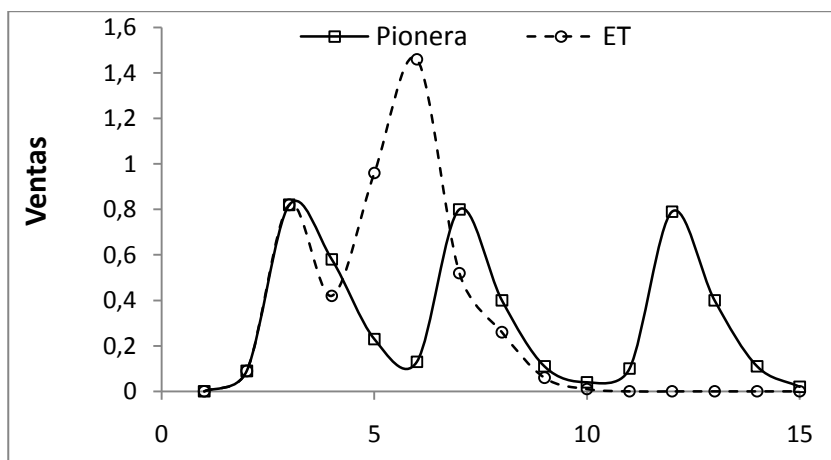
La simulación muestra que si la ET tiene una estrategia de inversión en I&D acertada, con innovación permanente de forma que ofrezca generaciones sucesivas de productos, puede incluso neutralizar la estrategia de la Pionera.

Tabla 7-12. Simulación del quinto escenario

Ventas			Precio	
Año	Pionera	ET	Pionera	ET

1	0	0	0	0
2	0,1	0	0	0
3	1,01	0	0,02	0
4	0,93	0	0,04	0
5	0,53	0	0,01	0
6	0,21	0,09	0	0
7	0,67	0,86	0,01	0,01
8	0,32	0,47	0,01	0
9	0,08	0,22	0	0
10	0,05	0,89	0	0,06
11	0,08	0,48	0	0,05
12	0,63	0,22	0,03	0,01
13	0,31	0,89	0,02	0,1
14	0,08	0,48	0	0,22
15	0,02	0,13	0	0,07

Figura 7-5.Comportamiento de las ventas y precios para la Pionera y la ET en el escenario cinco.



8 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este documento se presenta una explicación del fenómeno de crecimiento de ET en mercados de software estandarizado, utilizando modelado y simulación. Partiendo de la pregunta ¿por qué sobreviven algunas firmas de software y otras no? se desarrolla un modelo formal y, mediante sus simulaciones, se explica de manera lógica y validable el fenómeno de crecimiento de ET.

Múltiples analistas coinciden que altas economías de escala (estructura de costos y estrategias de precios) y el efecto de contagio entre redes de usuarios (externalidades de red) que adoptan múltiples generaciones de productos, conducen a explicar el crecimiento de las firmas de software en un modelo de mercado no lineal.

Se identificaron dos instrumentos teóricos útiles para el modelado de la estructura del comportamiento: la difusión de innovación y la teoría de los efectos de red. Mediante la revisión de la literatura, se clasificaron los modelos disponibles de acuerdo con el objeto de estudio, como modelos de adopción individual (a nivel micro) y modelos de adopción acumulada (a nivel macro). Sin embargo, se concluyó que los modelos disponibles para el modelado del crecimiento de firmas de software son insuficientes, porque a pesar de las bondades de cada enfoque, ambos consideran una estructura matemática para un mercado monopolístico y monogeneracional; condiciones poco realistas para el crecimiento de firmas de software. Particularmente, las brechas encontradas en la literatura son las siguientes:

1. A pesar de que el modelo clásico de Bass (1969) se inicia con la adopción espontánea de un grupo inicial de adoptadores, no proporciona explicaciones sobre los mecanismos que conducen a esta adopción inicial o al despegue. En la literatura de modelación de la difusión en mercados de software, los estudios se centran en explicar el comportamiento del mercado y no las particularidades del comportamiento de la tasa de ventas de las firmas de software.
2. Aunque se han estudiado las dinámicas de las externalidades de red en los mercados de software (Von Westarp, 2003; Tanriverdi & Lee, 2008; Kemper 2010; Liu et al., 2011), hasta ahora no se reportan modelos que expliquen el efecto de las externalidades de red en el ritmo de crecimiento de las ventas de firmas de software estandarizado, cuando difunden múltiples generaciones de productos.
3. En la formulación propuesta por Chanda & Bardhan (2008), las ventas de múltiples generaciones de producto para una firma podrían explicar este fenómeno; sin embargo, dado que la variable de salida de su modelo es ventas acumuladas, no permite detectar estas particularidades.
4. El desafío de integrar las externalidades de red en los modelos de difusión depende de los múltiples efectos de la base de usuarios existente, sobre el ritmo de crecimiento de las ventas de las firmas. Se espera que

la base de usuarios acelere el crecimiento y disminuya el precio, debido a los efectos de red.

5. El método de Kemper (2010) es una aproximación interesante que efectivamente considera la interacción entre adoptadores de una red y sus resultados, para un número grande de adoptadores. Sin embargo, no distingue entre generaciones sucesivas de productos.
6. La entrada de una nueva generación tecnológica hace más compleja la dinámica de crecimiento y genera procesos relacionados con el consumo que no se observan en la difusión de una sola generación (Peres et al., 2010). En primer lugar, la entrada de una nueva generación usualmente aumenta el mercado potencial, de modo que cambia de forma dinámica a lo largo de la difusión de cada generación; de acuerdo con la revisión realizada, hasta la fecha no se conocen contribuciones al respecto.
7. La comunicación entre adoptadores bajo competencia se vuelve más compleja, ya que la comunicación existe dentro y entre las firmas. Una cuestión empírica adicional es que la competencia inter generacional aumenta o retrasa el crecimiento de las firmas.

En conclusión, ninguno de los modelos de difusión ofrecen todavía el tratamiento de estas dinámicas (Peres et al, 2010). Por lo tanto, el análisis unificado de estas líneas de investigación fue necesario.

Para superar los vacíos de conocimiento relacionados con el modelado de la sobrevivencia de ET y las limitaciones en el modelado estructural del comportamiento, en esta investigación se siguió la metodología usual de los trabajos de dinámica de sistemas (Sterman J. , 2000). Se partió de definir el problema mediante modos de referencia, basados en históricos, y de explicar cómo la estructura del comportamiento y las políticas de decisión, generan el modo de referencia identificado.

El modelo propuesto considera la competencia entre dos firmas, Pionera y ET, cada una con tres generaciones de productos en competencia y parte de los siguientes supuestos:

- g. El indicador de crecimiento de las firmas es la venta anual (Peres et al., 2010).
- h. En la fabricación de software estandarizado, los principales costos para el desarrollo del producto ocurren en la fase de I&D (OCDE, 2009).
- i. La estrategia del precio en el tiempo es función del comportamiento de la base de usuarios.
- j. La *inversión en I&D* es un indicador de capacidad de innovación. La entrada necesaria para acumular capacidad en I&D es el porcentaje anual de ventas destinado a inversión en I&D y la salida se mide en número de nuevas *generaciones* de producto que se difunden en el mercado (Li, Shang, & Slaughter, 2010).

k. En mercados de software estandarizado, tanto el crecimiento de la Pionera como el de la ET son función de la inversión en I&D y del retardo en el tiempo de entrada al mercado de las múltiples generaciones de productos. El mercado potencial es dinámico en función de los efectos de red (β) considerados por Liu et al. (2011).

l. Una firma de software sale del mercado cuando no difunde nuevos productos después de dos años de la introducción del producto anterior (Giarratana, 2004).

Se propuso un modelo de adopción de múltiples generaciones y externalidades de red que considera un mercado potencial y coeficientes de innovación e imitación dinámicos y un modelo de precios e inversión en I&D. Se partió de un modelo monogeneracional de crecimiento de una firma de software; posteriormente, se propuso un modelo multigeneracional para dos firmas, tres generaciones y en un ambiente de competencia entre una Pionera y una ET.

El modelo propuesto descompone las ventas totales en compradores de una generación y compradores que repiten o actualizan. Dados los hallazgos descritos, los patrones dinámicos de los coeficientes de innovación e imitación para múltiples generaciones indican la naturaleza distintiva del crecimiento del mercado potencial para los usuarios de tipo imitador desde la primera generación de producto. El modelo propuesto no se basa en los canales tradicionales de comunicación como el boca a boca, porque asume que las externalidades de red en los modelos de difusión dependen de

los múltiples efectos de la base de usuarios existente, sobre la tasa de crecimiento de las ventas de las firmas.

Para firmas de software estandarizado el hecho de que los comparadores adopten sucesivas generaciones de productos es un factor determinante para el crecimiento de las ventas. El comportamiento de los usuarios que compran la primera generación y de los que repiten, incluso de los que adquieren ilegalmente los productos de las firmas, hace dinámico el potencial del mercado. Los resultados de la simulación del modelo propuesto han sido comparados con evidencia empírica y son consistentes con los constructos teóricos disponibles.

Las políticas de decisión evaluadas para explicar el modo de referencia identificado fueron: precios (en función de la base de usuarios y el tiempo), tiempo de entrada de múltiples generaciones de productos en competencia e inversión en I&D.

Lieberman & Montgomery (1998) y Shy (1996), han resaltado ampliamente las desventajas del primer entrante y las barreras que impone la firma Pionera a los potenciales nuevos competidores, que incluyen la política de precios que excluya a las ET del mercado, la inversión en I&D para generar y acumular capacidad de innovación que permite aprender más y más rápido sobre mejoras incrementales y el desarrollo de procesos de producción a más bajo costo.

Se observó que las barreras de entrada al mercado que encuentra una firma ET, no son infranqueables. Los resultados de simulación y la evidencia empírica muestran

que una política de inversión en I&D enfocada al desarrollo y rápido lanzamiento de versiones sucesivas de producto es una estrategia con un éxito potencial para posicionarse en el mercado. Esta estrategia también puede verse desde el punto de vista de la Pionera; las simulaciones y la evidencia empírica muestran que cuando la Pionera deja que la ET introduzca generaciones de su producto de manera más rápida, pierde parte de la base instalada e incluso del mercado potencial.

Mediante las simulaciones, se concluye entonces que la inversión en I&D es al crecimiento de las ventas de una ET, lo que la base de usuarios es al de la Pionera, cuando la ET promueve externalidades de red en la demanda e introduce en el mercado múltiples generaciones de productos más rápidamente que la Pionera. Esta afirmación podría parecer especulativa si no fuera por los resultados de simulación; sin embargo, la comprensión del modelo analítico arroja luces sobre la razón de este comportamiento. Cuando una de las dos firmas retrasa excesivamente el lanzamiento de la siguiente generación, deja una demanda no satisfecha que puede ser aprovechada por la firma competidora, ganando así su base instalada y visibilidad en el mercado.

La estrategia de precios para las Pioneras es un factor necesario, pero no suficiente para mantener el liderazgo en el mercado. A pesar de que la Pionera reduzca los precios muy por debajo de la ET, puede llegar a perder base instalada como lo muestran simulaciones del modelo propuesto y la evidencia empírica del caso Hancom - Microsoft por el mercado de procesadores de texto en Corea del Sur. Si la

política de precios no se acompaña con una disminución del retado en el tiempo de entrada entre generaciones de productos y una alta inversión en I&D, la ET puede aprovechar para ganar base instalada.

El crecimiento excesivo de una firma, Pionera o ET, tiene evidentes ventajas como una base instalada más grande y mejores externalidades de red, visibilidad en el mercado, experiencia y capacidad de innovación. No obstante, con el tamaño de la firma llega también el riesgo asociado a la alta especialización de los procesos. La experiencia ganada por la firma aumenta su capacidad de innovación que se refleja en las generaciones de productos o en mejoras de procesos de producción que llevan a una mayor eficiencia; sin embargo, esta especificidad en los procesos le resta resiliencia para afrontar cambios tecnológicos. Esto no representa una amenaza sino hasta cuando aparece una disrupción tecnológica que pueda aprovechar una ET con visión y capacidad de innovación suficiente como para materializar este avance de la tecnología en una nueva generación de producto competidor de la Pionera. Por ejemplo, los productos y servicios que se comienzan a ofrecer bajo la computación en la nube miden la capacidad de adaptarse al cambio de Microsoft frente a la ET Google. De acuerdo con el modelo, esta batalla en medio de la disrupción tecnológica de la computación en la nube, será ganada por aquella firma que muestre la mayor capacidad de innovación en términos de nuevos productos y generaciones sucesivas de los mismos.

En cuanto a flujo de adoptadores, las firmas compiten en dos frentes: el primero es la adquisición del mercado potencial antes que sus competidores, y el segundo es la estrategias para evitar la pérdida de usuarios y la atracción de clientes que compran de otras firmas.

Algunas limitaciones de la investigación realizada que sugieren temáticas para futuras investigaciones son las siguientes:

Dado que el modelo propuesto usa el modelo de Bass, puede heredar algunas de limitaciones como la ausencia de variables macroeconómicas tales como el PIB per cápita, las ventajas comparativas de la región en la que surge la firma, la difusión en multinacionales y el comportamiento demográfico y cultural del mercado.

Para validar el modelo se usaron datos de firmas de software ubicadas bien en una economía desarrollada o emergente. Podría ser interesante ver cómo trabaja el modelo propuesto para firmas ubicadas en países en vía de desarrollo siempre y cuando difundan software estandarizado. Como el modelo propuesto es basado en los datos de informes financieros, sería conveniente avanzar la investigación sobre algunas propuestas alternativas para predecir el crecimiento de las ventas con mayores limitaciones de datos.

En su momento se intentó validar el modelo con el grupo de empresas vinculadas al cluster antioqueño de software INTERSOFTWARE; sin embargo, dado que la naciente industria colombiana de software se especializa en software a la

medida de venta en el mercado doméstico, limitó la aplicación del modelo, pues ésta fue concebido para explicar de manera lógica, replicable y validable el comportamiento de firmas con capacidad de competencia global, la cual está principalmente concentrada en software estandarizado. Adicionalmente, mediante un trabajo de campo realizado con todas las empresas del cluster, se pudo verificar que no tienen definidas estrategias de precio, inversión en I&D, ni tiempo de entrada de generaciones de productos.

Esta investigación presenta una aproximación inicial en el modelado de la competencia entre dos firmas, Pinera y ET. Sería conveniente adoptar una aproximación desde la teoría de juegos para estudiar la competencia en mercados de software en función de los efectos de red, donde el éxito del producto de software es principalmente afectado por el tamaño de su base instalada (Véase Tan et al., 2010).

Existen oportunidades para aprovechar la inversión en I&D. Por ejemplo, ante la globalización del mercado y la integración de software a los dispositivos de hardware (por ejemplo, dispositivos móviles), ejemplos como la difusión de juegos para móviles con precios inferiores a USD 1, ha impulsado el crecimiento de firmas como Rovio Mobile Ltd., cuyas ventas superan los USD 5 millones y cuantiosos usuarios de iPhone / iPad / iPod Touch y Android (Apple, 2011; Gobry, 2011).

En la investigación se partió del supuesto de que la inversión de I&D siempre es un acumulador y generador de

capacidades de innovación. Como resultado de la puesta en marcha de la investigación, se desarrollaron dos proyectos financiados por COLCIENCIAS²², tratando de proponer un modelo para la medición y evaluación de la capacidad de innovación, el cual se encuentra en fase de validación. Sería conveniente considerar el efecto endógeno generado por las capacidades constitutivas de la capacidad de innovación, trascendiendo las limitaciones que implica considerar únicamente la capacidad de I&D.

Dadas las limitaciones de datos, en la investigación se consideraron las generaciones como innovaciones incrementales. Se sugiere como trabajo futuro, el modelado del crecimiento de ET ante escenarios de disrupciones tecnológicas, como aspecto relevante en industrias basadas en nuevas tecnologías. El modelo no explica el fenómeno de disrupciones y no se define en qué casos una nueva generación de producto es disrupción tecnológica.

Finalmente, el rápido cambio de las condiciones del mercado mundial de alta tecnología y el surgimientos de múltiples ET, proveen oportunidades para entender el éxito y fracaso de las firmas en mercados caracterizados por precio, efectos de red y alta inversión en I&D.

Proyecto 1: metodología para la Medición y Evaluación de Capacidades de Innovación en Empresas de Software y Tecnologías Relacionadas y su Aplicación Experimental en Antioquia. 2009.

Proyecto 2: Modelamiento y simulación de estrategias de innovación para el crecimiento de la industria colombiana de software y su ingreso al mercado exportador"

9 Referencias

Altinkemer, K., & Shen, W. (2008). A Multigeneration Diffusion Model for IT-Intensive Game Consoles. *Journal of the Association for Information Systems* , 9(8), 442-461 .

Ansoff, H., & Stewart, J. (1967). Strategies for technology based business. *Harvard Business Review* , 45(6), 71-83.

Armbrust, M., Fox, A., & Griffith, R. (2009). *Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing*. Recuperado el 2011, de RAD Lab Berkeley: [http://x-integrate.de/x-in-cms.nsf/id/DE_Von_Regenmachern_und_Wolkenbruechen_-_Impact_2009_Nachlese/\\$file/abovetheclouds.pdf](http://x-integrate.de/x-in-cms.nsf/id/DE_Von_Regenmachern_und_Wolkenbruechen_-_Impact_2009_Nachlese/$file/abovetheclouds.pdf)

Arora, A., & Gambardella, A. (2005). *The rise and growth of the software industry in Brazil, China, India, Ireland and Israel*. Oxford: Oxford University Press.

Arora, A., & Gambardella, A. (2005). *The rise and growth of the software industry in Brazil, China, India, Ireland and Israel*. Oxford: Oxford University Press.

Arora, A., & Gambardella, A. (2005). *The rise and growth of the software industry in Brazil, China, India, Ireland and Israel*. Oxford: Oxford University Press.

Arthur, B. (1989). Competing technologies, increasing returns, and lock in by historical events. *The economic Journal* , 99, 116-131.

Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review* , 12(3), 183-210.

Bass, F. (1969). A new product growth model for consumer durables. *Management Science* , 15, 215-227.

Bass, P., & Bass, F. (2001). Bass Economics.
<http://www.basseconomics.com> .

Campbell-Kelly, M. (1995). Development and Structure of the International Software Industry, 1950-1990. *Business and Economy History* , 24(2), 73-110.

Chanda, U., & Bardhan, A. (2008). Modelling innovation and imitation sales of products with multiple technological generations. *Journal of High Technology Management Research* , 18 (2), 173-190.

Check_Point_Software_Tech. (2011).

Check_Point_Software_Tech. Recuperado el julio de 2011, de http://www.checkpoint.com/corporate/ir/annual_reports.html

Chow, G. C. (1967). Technological Change and the Demand for Computers. *American Economic Review* , 57 (5), 1117-1130.

Chudnosvsky, D., López, A., & Melitsko, S. (2001). *El Sector de Software y Servicios Informáticos (SSI) en la Argentina: Situación Actual y Perspectivas de Desarrollo*. Recuperado el 2010, de Centro de Investigaciones para la Transformación (CENIT): <http://www.fundcenit.org.ar/investigaciones/publicaciones1.htm>

Church, J., & Gandal, N. (1996). Strategy entry deterrence: complementary products as a installed base. *European Journal of political economy* , 12, 331-354.

DATAMONITOR. (2010). Recuperado el 2010, de http://www.datamonitor.com/store/Product/software_bric_brazil_russia_india_china_industry_guide_2010?productid=489B56AFC675-424D-A462-9469C0B894A6

D'Costa. (2002b). Desarrollo desigual y combinado: cómo comprender las exportaciones de software de la India.

D'Costa. (2002). *From Export Growth and Path-Dependence The Locking-in of Innovations in the Software Industry*.

Recuperado el 2011, de

<http://sts.sagepub.com/cgi/content/abstract/7/1/51>

Dong, Y., Yao, L., & Yu, T. (2009). Software Difusión Analysis based on Multi-agent simulation. *The 1st international conference on information science and engineering*. Nanjing: IEEE Computer society.

Economides. (1996). The economics of networks. *International Journal of Industrial Organization* , 14 (2), 675-699.

European_Commission. (2007). *The 2006 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*. Recuperado el 31 de julio de 2011, de Economic of industrial Research and Innovation: http://iri.jrc.ec.europa.eu/research/scoreboard_2006.htm.

Farrell, & Saloner. (1986). Installed Base and Compatibility: Innovation, Product Preannouncement, and Predation. *American Economic Review* , 76 (4), 940-955.

Fourt, L., & Woodlock, J. (1960). Early prediction of early success of new grocery products. *Journal of Marketing* , 25, 31- 38.

Gandal, N. (1994). Hedonic price indexes for spreadsheets and an empirical test for network externalities. *The Rand Journal of Economics* , 25, 160-170.

Giarratana, M. (14 de marzo de 2004). The birth of a new industry:entry by start-ups and the drivers of firm growth. The case of encryption software. *Research Policy* , 33(5), 787-806.

Google_Inc. (2011). *Google Inc.* Recuperado el julio de 2011, de <http://investor.google.com/earnings.html>

Griliches, Z. (1960). Hybrid Corn and the Economics of Innovation. *Science* , 132, 275-280.

Haansoft. (2011). *Haansoft.* Recuperado el 2011, de Haansoft: <http://www.hancom.co.kr/>

Hobday, M. (1995). *Innovation in East Asia: The Challenge to Japan.* Cheltenham: Edward Elgar.

INFOSYS. (2011). *INFOSYS.* Recuperado el 2011, de INFOSYS: <http://www.infosys.com/investors/reports-filings/annual-report/Pages/index.aspx>

Katz, M., & Shapiro, C. (1985). Network externalities, competition, and compatibility. *The American economic review* , 75(3), 424-440.

Keller, A., & Hüsigg, S. (2009). Ex ante identification of disruptive innovations in the software industry applied to web applications: The case of Microsoft's vs. Google's office applications. *Technological Forecasting & Social Change* , 76, 1044-1054.

Keller, A., & Hüsigg, S. (2009). Ex ante identification of disruptive innovations in the software industry applied to web applications: The case of Microsoft's vs. Google's office applications. *Technological Forecasting & Social Change* , 76, 1044-1054.

Kemper, A. (2010). *Valuation of network effects in software markets*. Berlin: Physica Verlag.

Kemper, A. (2010). Valuation of Network Effects in Software Markets. *Contributions to Management Science* .

Li, S., Shang, J., & Slaughter, S. (2010). Why Do Software Firms Fail? Capabilities, Competitive Actions, and Firm Survival in the Software Industry from 1995 to 2007. *Information Systems Research* , 21(3), pp. 631-654.

Li, Y., & Sui, M. (2011). Literature analysis of innovation diffusion. *Technology and investment* , 2, 155-162.

Lieberman, M., & Montgomery, D. (1998). First-mover (dis)advantages: retrospective and link with the resource-based. *Strategic Management Journal* , 19(12), 1111-1125.

Liu, X., & Wang, C. (2003). Does foreing direct invest facilitate technological progress?. Evidence from chinese industries. *Research Policy* , 32(6), pp.945-953.

Liu, Y., Cheng, H., Tang, Q., & Eryarsoy, E. (2011). Optimal software pricing in the presence of piracy and word-of-mouth effect. *Decision Support Systems* , 51, 99-107.

Maier, F. (1998). New product diffusion models in innovation management a system dynamics perspective. *System Dynamics Review* , 14, 285- 308.

Mansfield, E. (1961). Technical change and the rate of imitation. *Econometrica* , 29, 741- 766.

Meade, N., & Islam, T. (2006). Modelling and forecasting the diffusion of innovation - A 25-year review. *International Journal of Forecasting* , 22, 519- 545.

Microsoft_Corp. (2011). *Microsoft Corp.* Recuperado el 30 de julio de 2011, de Microsoft Corp.:
<http://www.microsoft.com/investor/AnnualReports/default.aspx>

Norton, J., & Bass, E. (1987). A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of hightechnology products. *Managemen Sci.* , 33(9) 1069-1086.

OECD. (2009). *INNOVATION IN THE SOFTWARE SECTOR.* .
Recuperado el 7 de Agosto de 2010, de
<http://www.oecd.org/dataoecd/60/24/44131881.pdf>

Oren, S., Smith, S., & Wilson, R. (1982). Nonlinear Pricing in Markets with Interdependent Demand. . *Marketing Science* , 1 (3), 287-313.

Peres, R., Muller, E., & Mahajan, V. (2010). Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions. *Intern. J. of Research in Marketing* , 27, 91-106.

Peres, R., Muller, E., & Mahajan, V. (2010). Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions. *Intern. J. of Research in Marketing* , 27, 91-106.

Peres, R., Muller, E., & Mahajan, V. (2010). Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions. *Intern. J. of Research in Marketing* , 27, 91-106.

Rahmandad, H., & Sterman, J. (2008). Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion: Comparing Agent-Based and Differential Equation Models. *Management Science* , 54 (5) 998-1014.

Rogers, E. (1995). *Diffusion of Innovation*. New York: The Free Press.

Rousseva, R. (2008). Identifying technological capabilities with different degrees of coherence: The challenge to achieve high technological sophistication in latecomer software companies (based on the Bulgarian case). *Technological Forecasting and Social* .

Saeed, K. (1998). *Defining a problem or constructing a reference mode*. Recuperado el 2011, de wpi:
<http://www.wpi.edu/Images/CMS/SSPS/13.pdf>

Schumpeter, J. (1942). *Socialism and Democracy*. New York: Harper.

Schware, R. (1992). Software industry entry strategies for developing countries: a walking on two legs proposition. *World Development* , 20(2)143-156.

Shapiro, C., & Varian, H. (1998). Versioning: The smart way to sell information. *Harvard Bus.* , 76(6) 106-114.

Shy, O. (1996). *Industrial Organization*. London: The MIT Press.

Soete, L. (1985). International diffusion of technology, industrial development and technological leapfrogging . *World Development* , 13 (3), 409-422.

Steinmueller, E. (2001). ICTs and the possibilities for leapfrogging by developing countries. *Int. Labour Rev* , 140 (2),193-210.

Sterman. (2000). *Business Dynamics. Systems thinking and modeling for complex word*. united States of America: McGraw Hill.

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics*. McGraw Hill.

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics. Systems thinking and modellling for a complex world*. McGraw-Hill.

SYMANTEC_CORP. (2011). *SYMANTEC CORP.* Recuperado el 31 de Julio de 2011, de <http://investor.symantec.com/phoenix.zhtml?c=89422&p=irol-irhomeStock>

Tan, C., Yang, X., & Xu, H. (2010). An investigation of the word-processing software market war in South Korea:A game-theoretic approach. *Information & Management* , 47, 96-101.

Tanriverdi, H., & Lee, C. (2008). Within-industry diversification and firm performance in the presence of network externalities: evidence from the software industry. *Academy of Management Journal* , 51(2), 381-397.

Teng, T., Grover, T., & Guttler, W. (2002). Information technology innovations: General diffusion patterns and its relationships to innovation characteristics. *IEEE Transactions on Engineering Management* , 49, 13- 27.

Torrisoni. (1998). *Industrial organization and Innovation*. Massachusetts: Edward Elgar.

Välimäki, M. (2005). *The rise of open source licensing*. Finalnadia: TURRE PUBLISHING.

Von Westarp, F. (2003). *Modeling software markets. Empirical analysis, network simulations and marketing implications*. New York: Physica Verlag.

Von Westarp, F. (2003). *Modeling software markets. Empirical analysis, network simulations and marketing implications*. New York: Physica Verlag.

Warren, K. (2002). *Competitive Strategy Dynamics*. Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

Yahoo. (2011). *Yahoo Inc.* Recuperado el 2011, de Yahoo Inc.: <http://investor.yahoo.net/annuals.cfm>